This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

QC
703
F4

OSTWALD'S KLASSIKER
EXAKTEN WISSENSCHAFTEN.
166.

UC-NRLF
$B 270 902

ENTLADUNG DER LEIDENER FLASCHE

ABHANDLUNGEN

VON

W. FEDDERSEN

(1857—1866)

WILHELM ENGELMANN IN LEIPZIG.

OSTWALDS KLASSIKER

DER

EXAKTEN WISSENSCHAFTEN

8. Gebunden.

Erschienen sind bis jetzt aus dem Gebiete der

Physik:

LIBRARY

OF THE

UNIVERSITY OF CALIFORNIA.

Class

» 18. [illegible] (1785—1786.) Übersetzt und herausgegeben von W. König. Mit 14 Textfiguren. (88 S.) ℳ 1.80.

» 19. Über die Anzieh. homogener Ellipsoide, Abhandlungen von **Laplace** (1782), **Ivory** (1809), **Gauss** (1813), **Chasles** (1838) und **Dirichlet** (1839). Herausgegeben von A. Wangerin. (118 S.) ℳ 2.—.

» 21. **W. Hittorf,** Über die Wanderungen der Ionen während der Elektrolyse. (1853—1859.) I. Hälfte. Mit 1 Taf. Herausg. v. W. Ostwald. 2., erweiterte Auflage. (115 S.) ℳ 1.60.

» 23. —— —— II. Hälfte. Mit 1 Taf. Herausg. v. W. Ostwald. 2. durchgesehene Auflage. (142 S.) ℳ 1.50.

» 24. **Galileo Galilei,** Unterredungen und mathem. Demonstrationen über zwei neue Wissenszweige usw. (1638.) 3. u. 4. Tag mit 90 Textfig. Aus d. Italien. und Latein. übersetzt und hersausgegeben von A. v. Oettingen. II. Auflage. (141 S.) ℳ 2.—.

» 25. —— —— Anhang zum 3. und 4. Tag, 5. und 6. Tag mit 23 Textfiguren. Aus dem Italien. u. Latein. übersetzt u. herausgegeben von A. v. Oettingen. (66 S.) ℳ 1.20.

» 31. **Lambert,** Photometrie. (1760.) Deutsch herausg. v. E. Anding. I. Heft: The[illegible]. (135 S.) ℳ 2.—.

» 32. **Lambert,** Pho[illegible]II, IV und V. Mit 32 Textfig. (11[illegible]

» 33. —— —— III.[illegible]— Anmerkungen. Mit 8 Textfigur[illegible]

Nr. 34. **R. Bunsen** und **H. E. Roscoe**, Photochemische Untersuchungen. (1855—1859.) I. Hälfte. Herausgegeben von W. Ostwald. Mit 13 Textfiguren. (96 S.) ℳ 1.50.

» 36. **F. Neumann**, Theorie inducirter elektr. Ströme. (1847.) Herausg. von C. Neumann. Mit 10 Textfiguren. (96 S.) ℳ 1.50.

» 37. **S. Carnot**, Bewegende Kraft des Feuers und die zur Entwicklung dieser Kraft geeigneten Maschinen. (1824.) Übersetzt u. herausg. von W. Ostwald. Mit 5 Textfiguren. (72 S.) ℳ 1.20.

» 40. **A. L. Lavoisier** u. **P. S. de Laplace**, Zwei Abhandlungen über die Wärme. (Aus d. Jahren 1780 u. 1784.) Herausgeg. von J. Rosenthal. Mit 13 Textfiguren. (74 S.) ℳ 1.20.

» 42. **A. v. Humboldt** u. **J. F. Gay-Lussac**, Abhandl. über d. Volumgesetz gasförm. Verbindgn. 1805—1808. Herausgegeben v. W. Ostwald. (42 S.) ℳ —.60.

» 44. Das Ausdehnungsgesetz der Gase. Abhandlungen von **Gay-Lussac Dalton, Dulong** u. **Petit, Rudberg, Magnus, Regnault.** (1805-1842.) Herausg. von W. Ostwald. Mit 33 Textfig. (212 S.) ℳ 3.—.

» 45. **Humphry Davy**, Elektrochemische Untersuchungen. Vorgelesen in d. königl. Societät zu London als Bakerian Lecture am 20. Nov. 1806 und am 19. Nov. 1807. Herausgeg. von W. Ostwald. Mit 1 Tafel. (92 S.) ℳ 1.20.

» 52. **Aloisius Galvani**, Kräfte der Elektricität bei der Muskelbewegung. (1791.) Herausgegeben von A. v. Oettingen. Mit 21 Figuren auf 4 Tafeln. (76 S.) ℳ 1.40.

» 53. **C. F. Gauss**, Die Intensität der erdmagnetischen Kraft auf absolutes Maß zurückgeführt. Herausg. von E. Dorn. (62 S.) ℳ 1.—.

» 56. **Ch. Blagden**, Überkaltung und Gefrierpunktserniedrigung. (1788.) Herausgegeben von A. v. Oettingen. (49 S.) ℳ —.80.

» 57. **Fahrenheit, Réaumur, Celsius**, Thermometrie. (1724, 1730 bis 1733, 1742.) Herausgeg. von A. v. Oettingen. Mit 17 Textfig. (140 S.) ℳ 2.40.

» 59. **Otto von Guericke**, Neue »Magdeburgische« Versuche über den leeren Raum. (1672.) Aus dem Lateinischen übersetzt und herausgegeben von Friedrich Dannemann. Mit 15 Textfiguren. (116 S.) ℳ 2.—.

» 61. **G. Green**, Ein Versuch, die mathemat. Analysis auf die Theorien der Elektricität u. des Magnetismus anzuwenden. (1828.) Herausg. von A. v. Oettingen und A. Wangerin. (140 S.) ℳ 1.80.

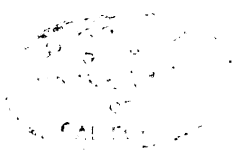
» 63. **Hans Christian Oersted** und **Thomas Johann Seebeck**, Zur Entdeckung des Elektromagnetismus. (1820—1821.) Herausgegeben von A. v. Oettingen. Mit 30 Textfiguren. (83 S.) ℳ 1.40.

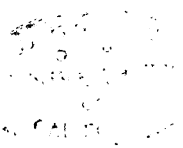
» 69. **James Clerk Maxwell**, Über Faradays Kraftlinien. (1855 und 1856.) Herausgegeben von L. Boltzmann. (130 S.) ℳ 2.—.

» 70. **Th. J. Seebeck**, Magnetische Polarisation der Metalle und Erze durch Temperatur-Differenz. (1822—1823.) Herausgegeben von A. v. Oettingen. Mit 33 Textfiguren. (120 S.) ℳ 2.—.

» 72. **G. Kirchhoff** und **R. Bunsen**, Chemische Analyse durch Spectralbeobachtungen. (1860.) Herausg. von W. Ostwald. Mit 2 Tafeln und 7 Textfiguren. (74 S.) ℳ 1.40.

» 76. **F. E. Neumann**, Theorie der doppelten Strahlenbrechung, abgeleitet aus den Gleichungen der Mechanik. (1832.) Herausgegeben von A. Wangerin. (52 S.) ℳ —.80.





Dr H. Fedderson.

Verlag v. Wilhelm Engelmann, Leipzig. Gravure Meisenbach Riffarth & Co.

Entladung der Leidener Flasche, intermittierende, kontinuierliche, oszillatorische Entladung und dabei geltende Gesetze

Abhandlungen

von

W. Feddersen

(1837–1866)

Herausgegeben

von

E. Des Coudres

Mit einem Bildnis des Verfassers in Heliogravüre und 3 lithographischen Tafeln

Leipzig

Verlag von Wilhelm Engelmann

1908

Dr W. Fedder

Entladung der Leidener Flasche, intermittierende, kontinuierliche, oszillatorische Entladung und dabei geltende Gesetze

Abhandlungen

von

W. Feddersen

(1857–1866)

Herausgegeben

von

Th. Des Coudres

Mit einem Bildnis des Verfassers in Heliogravüre und 3 lithographischen Tafeln

Leipzig

Verlag von Wilhelm Engelmann

1908

02703
F4

Inhalt.

Seite

Beiträge zur Kenntnis des elektrischen Funkens . 5
Einleitung 5
Beobachtungsmethoden 8
Apparat 9
Kontinuierliche Entladung 12
Intermittierende Entladung 13
Beständigkeit des Funkenkanals 15
Zeitabstand zweier Partialentladungen im Verhältnis zur Schlagweite 15
Zeitabstand zweier Partialentladungen im Verhältnis zum Widerstande 16
Dauer der Totalentladung 19
Messung der in einer Totalentladung ausgeglichenen Elektrizitätsmenge 20
Elektrische Wellenbewegung 27
Oszillatorische Entladung und ihre Grenze 31
Stromteilung bei Entladung durch ein elektrisches Doppelventil 38
Über die elektrische Flaschenentladung. I. Direkte Beobachtung 44
Grundanschauungen 45
Methode der Untersuchung 47
Rotationsapparat 48
Funkenapparat 49
Spiegel und Spiegelbild 51
Batterie und Leitungswiderstände 53
A. Beobachtungen bei kurzem Schließungsbogen . . . 54
Dauer der Totalentladung bei geringem Widerstand . 57
bei Vergrößerung v. Schlagweite u. elektr. Oberfläche 59
bei Vergrößerung des Widerstandes 60
B. Beobachtungen bei langem Schließungsbogen . . . 62
und bei wachsendem Widerstande 64
Grenzwiderstand und seine Gesetze 65

175021

Seite

Über die elektrische Flaschenentladung. II. Photographische Beobachtung 72
Bilder bei ruhendem Spiegel 73
Bilder bei rotierendem Spiegel 79
Bilder bei rotierendem Spiegel und gut leitendem kurzen Schließungsbogen 79
Bilder bei rotierendem Spiegel und gut leitendem langen Schließungsbogen 82
Analyse der verbreiterten Funkenbilder 83
Einfluß des Polmetalles auf das Fortschleudern der Teilchen 86
Gesetze der Oszillationen:
Einfluß der Schlagweite 89
Einfluß der elektrischen Oberfläche 90
Andeutung von Interferenzen 100
Einfluß der Leiterlänge und Aufspannung 101
Einfluß des Widerstandes 105
Theorie der Stromverzweigung bei der oszillatorischen elektrischen Entladung und die »äquivalente Länge« Knochenhauers 108
Erwärmung der Zweige ist unter Umständen reziprok dem Quadrat ihrer Selbstinduktion 115
Knochenhauers »äquivalente Länge« ist meistens proportional der Selbstinduktion 120
Schlußbemerkung 123
Anmerkungen 124

LIBRARY OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA

Beiträge zur Kenntnis des elektrischen Funkens[1]).

[5] **Historische Einleitung.** Soviel man auch über den elektrischen Funken geschrieben hat, so ist doch die Natur desselben unter den verschiedenen Umständen seiner Erscheinung nur von wenigen beleuchtet worden. Riess ist meines Wissens der erste, welcher den Mechanismus der elektrischen Entladung im Funken einer näheren Betrachtung unterzogen hat*). Er stellt sich die Entladung eines Konduktors im allgemeinen als bestehend aus vielen regelmäßig hintereinanderfolgenden Entladungen vor, welche er Partialentladungen nennt, und zwar in der Art, daß sich zwischen zwei solchen Partialentladungen die Elektrizität an den Polen »aufstaut«, bis sie imstande ist, den Durchbruch zu bewerkstelligen. Diese Ansicht begründet er aus den Rückstandserscheinungen, nämlich:

1) dadurch, daß bei Zerstörung eines Teils des Schließungsbogens durch die Entladung ein viel größerer Rückstand bleibt, als bei unversehrtem Schließungsbogen;
2) dadurch, daß bei Einschaltung eines hinreichend großen Widerstandes der Rückstand nach der Entladung ebenfalls ein größerer ist.

[6] Neuerdings hat Riess Beobachtungen veröffentlicht**), welche ihm eine Unterstützung seiner Ansicht gewähren sollen, indem sie zeigen, daß bei Entladung einer bestimmten Elektrizitätsmenge die Wärmeentwicklung an einer Stelle des im übrigen konstanten Schließungsbogens anfangs abnimmt, wenn man die Leitungsfähigkeit des von dem Funken zu durchbrechenden (flüssigen) Mediums erhöht, bald jedoch eine untere Grenze erreicht und nun mit weiterer Vermehrung des Leitungsvermögens wieder zunimmt.

---

*) Pogg. Ann. 1849, Bd. 78, S. 433.
**) Pogg. Ann. 1856, Bd. 98, S. 579 u. f.

Indem Riess aber die Möglichkeit aufeinanderfolgender Partialentladungen durch eine Veränderung der Luft begründet, welche jeder Partialfunke hervorbringt, stellt er folgende zwei Gesetze als wahrscheinlich auf:

1) Das Zeitintervall zwischen zwei Partialentladungen muß umgekehrt mit der Dichtigkeit der angehäuften Elektrizität und direkt mit dem Widerstande des Schließungsbogens zunehmen.
2) Bei größerer Zwischenzeit wird sich die Luft von einer Partialentladung zur andern weit mehr verändert haben, als bei kleinerer, folglich muß die Gesamtentladung im ersten Falle mit einer kleineren Menge von Partialentladungen schließen, als im zweiten*).

Hierbei ist es jedoch auffallend, wie auch schon Riess hervorgehoben, daß der Einfluß des Widerstandes auf die Quantität des Rückstandes — nach der Riessschen Ansicht also auch auf die Zahl der Partialentladungen — erfahrungsmäßig erst bei einer bestimmten beträchtlichen Größe des [7] Widerstandes (bei Einschaltung einer Wassersäule) bemerkbar wird. — Im Widerspruch mit dieser Ansicht von Riess scheinen die Ansichten anderer zu stehen, welche, vom Kalkül ausgehend, den Mechanismus einer elektrischen Entladung einer Betrachtung unterzogen haben. So viel mir bekannt, ist Helmholtz der erste, welcher auf eine oszillatorische Bewegung bei der Entladung einer Leidener Flasche hindeutete**). Darauf hat Thomson***) diesen Gegenstand von mathematischer Seite beleuchtet, und, ausgehend von dem Prinzip der lebendigen Kräfte, gefunden, daß es zwei Arten elektrischer Bewegung bei Entladung eines elektrischen Konduktors geben könne, eine kontinuierliche und eine oszillatorische. Inzwischen ist auf diesem Gebiete wenig geschehen, bis ganz kürzlich Kirchhoff†) den Gegenstand von einer andern Seite aufgenommen hat und bei seiner rein mathematischen Betrachtung, für gewisse Fälle, zu welchen auch die praktisch unmögliche Entladung einer Leidener Flasche durch einen ununterbrochenen Schließungsbogen gehören würde, zu dem Resultat einer oszillatorischen Bewegung gekommen ist.

---

*) So glaube ich wenigstens Riess' Ansicht kurz fassen zu dürfen.

**) Erhaltung der Kraft, Berlin 1847, S. 44.

***) Philosophical Magazine, 1853, Bd. 5, 4. Ser., S. 393.

†) Pogg. Ann. 1857, Bd. 100, S. 193.

Mag man nun auch die Thomsonsche Betrachtungsweise, welche Stromstärke und Geschwindigkeit der Elektrizität ohne weiteres identifiziert, als richtig ansehen, so wird man doch, weder durch diese, noch auch durch die Kirchhoffschen Formeln über die Bewegung der Elektrizität in dem elektrischen Funken einen Aufschluß erhalten können. Die Untersuchung beider Forscher setzt nämlich einen Leiter von bestimmtem angebbaren Widerstande voraus. Das Luftspatium, welches [8] die Elektrizität bei Entladung der Leidener Flasche zu durchbrechen hat, können wir aber nicht als einen solchen Widerstand in Rechnung ziehen, teils weil der Widerstand der Luft vor der Entladung unendlich groß ist und beim Eintritt des Funkens einen plötzlichen Sprung zu einer endlichen Größe macht, teils aber auch, weil diese endliche Größe, welche den Widerstand des Luftraumes nach dem Beginn der Entladung darstellen soll, eine unbekannte Funktion der elektrischen Bewegung selbst sein wird. Nehmen wir an, was durch Beobachtungen als unzweifelhaft erwiesen ist*), daß der Kanal, welchen die Elektrizität im Funken sich gebrochen, nicht momentan seine Leitungsfähigkeit wieder verliert, so könnte man freilich für die Größe und die Veränderung dieser Leitungsfähigkeit Suppositionen stellen und demgemäß von der Kirchhoffschen Untersuchung auch bei Entladung einer Leidener Flasche durch den Funken Anwendung machen. Allein da wir noch keine hinreichend sichere Grundlagen für solche Annahmen besitzen, so möchten wir doch am leichtesten von dem Experimente über die Elektrizitätsbewegungen im Funken einen Aufschluß erwarten.

Nachdem ich schon früher durch die Beobachtung des Funkens am Induktionsapparate[2]) auf die besondere Natur dieses Funkens aufmerksam geworden war, und mich von seiner langen Dauer, sowie unter gewissen Bedingungen von der Existenz verschiedener aufeinanderfolgenden Entladungen bei einer einmaligen Unterbrechung des induzierenden Stromes überzeugt hatte, unternahm ich einige Versuche mit dem reibungselektrischen Funken, weil mir für diesen mehr Aussicht auf die [9] Erkenntnis der quantitativen Verhältnisse vorhanden schien. Der Herr Professor G. Karsten, dessen Wohlwollen mich zu besonderem Danke verpflichtet, gestattete mir mit der größten

*) Vergleiche z. B. Faradays Experimental researches in Phil. Trans. 1838, Ser. 12 § 1417 (auch Ostwalds Klassiker Nr. 128, S. 40).

Bereitwilligkeit die Benutzung des von ihm so gut wie neu geschaffenen physikalischen Kabinetts, welches für die Verhältnisse unserer Kieler Universität vorzüglich ausgestattet ist.

Beobachtungsmethoden. Es gab für meine Untersuchung zwei Beobachtungsmethoden, von denen die eine von Wheatstone schon angewandt, die andere aber zur Messung der Elektrizitätsgeschwindigkeit von Siemens nur vorgeschlagen ist. Wheatstone bedient sich eines rotierenden Spiegels, in welchem man den Funken betrachtet, während Siemens (allerdings auch mit Hilfe eines rotierenden Apparates) die chemische Wirkung des elektrischen Funkens benutzt. Letzterer will nämlich eine rotierende, fein polierte Stahlwalze anwenden, auf welche der Funke überspringt. Dieselbe würde mit dem Entlader in kontinuierlicher Verbindung stehen, während der Pol der inneren Belegung einer Leidener Flasche, ihr in bestimmter Entfernung gegenüber gestellt wird. Ein von diesem Pole zur Walze überspringender Funke wird nun auf letzterer eine sichtbare chemische Einwirkung hervorbringen, und wenn die Dauer des Funkens, verglichen mit der Rotationsgeschwindigkeit des Spiegels, keine zu kleine Größe ist, so könnte man erwarten, auf diese Weise eine objektive Darstellung der elektrischen Entladung in ihrem Verlaufe zu gewinnen, zumal da der Übelstand einer stets ver[10]änderlichen Schlagweite, wie er bei dem Wheatstoneschen Apparate stattfindet, hier gänzlich vermieden zu sein scheint. Doch nicht allein dieser Vorzug ist illusorisch, sondern überhaupt die ganze Methode ist für den gegenwärtigen Fall unbrauchbar. Es steht nämlich nicht allein aus theoretischen Gründen, sondern auch nach Experimentaluntersuchungen*) — beiläufig bemerkt, auch nach meinen Beobachtungen — außer allem Zweifel, daß die elektrische Entladung in ihrem Verlaufe den durch die Luft einmal eingeschlagenen Weg allen übrigen möglichen Wegen, selbst wenn sie um ein beträchtliches Stück kürzer sind, vorzieht. Da nun aber mit der Walze auch die umgebende Luft in Bewegung gesetzt wird, so ist es klar, daß der einmal gebrochene Kanal sofort seine Lage verändern wird, und daher der elektrische Strom nicht mehr beständig normal gegen die Walze gerichtet bleiben kann. Wenn man daher erwägt, daß bei dem Siemensschen Apparate auf solche Weise gerade das, was man beobachten will, entstellt

* Faradays Exp. res. ib. id. 1417 & 1418.

werden würde, und wenn man außerdem die Schwierigkeit bedenkt, welche hier einer Wiederholung der Versuche entgegensteht, so wird man gewiß auf diese Methode verzichten müssen. Der oben erwähnte Übelstand veränderlicher Schlagweite während der Entladung, läßt sich aber bei dem Wheatstoneschen Apparate durch eine passende Einrichtung leicht vermeiden. Es sei mir erlaubt, den Plan kurz anzugeben, nach welchem ich mir einen Apparat zusammengestellt habe, von dem Fig. 1 der anliegenden Tafeln eine perspektivische Ansicht geben soll.

[11] **Apparat.** Auf einem hufeisenförmigen, aus isolierten Eisendrähten zusammengesetzten Elektromagnet B (Tafel I, Fig. 1) befestigte ich mittels einer Holzfassung E einen guten belegten Glasspiegel D von $^1/_2$ Fuß Länge und 1 Zoll Breite. Der Magnet ruhte mit einem Achathütchen auf einem vertikalen Ständer von Stahl, C, und konnte auf diese Weise über den Polen eines größeren Elektromagneten A rotieren, welcher letzte fast ganz in einem soliden Holzkasten $FGHI$ eingeschlossen war. An den beiden Enden des Hufeisenmagneten B waren Elfenbeinfassungen a eingekittet, welche ein doppeltes Federpaar trugen. Das erste b, indem es auf Metallstücken β schleifte, die in dem Elfenbeinklotze α eingelegt waren, diente dazu, den Strom in der Drahtumwicklung des Hufeisenmagneten B, sobald sich letzterer über den Polen von A befand, umzusetzen. Die Metallplatten β bildeten nämlich die Pole einer galvanischen Kette, in welcher der ruhende Elektromagnet A eingeschaltet war. Das zweite Federpaar schleifte über den Metallstücken δ und $\delta\iota$, wovon das eine ($\delta\iota$) auf einer hohen Elfenbeinunterlage $\gamma\iota$ hinter dem Klotze, das andere auf einer niedrigen Elfenbeinplatte vor dem Klotze angebracht war, so daß die danach regulierten Federn c während einer ganzen Umdrehung des Spiegels nur einmal gleichzeitig mit den Metallstücken δ $\delta\iota$ in Berührung kommen konnten. Diese Federn (c) waren miteinander verbunden durch das Messingblech d, welches außerdem zur Festigkeit des ganzen Apparates wesentlich beitrug, indem die darin eingeschobene elfenbeinerne Hülse e sich eng an den festen Ständer C anschloß. Da nun das möglichst [12] isolierte Metallstück δ durch den Kugelansatz ε, sowie durch die Widerstände und das Funkenmikrometer mit der inneren Belegung der Leidener Flasche verbunden war, das Metallstück $\delta\iota$ aber mit der äußeren Belegung in kontinuierlicher Verbindung stand, so war die

Bedingung zur elektrischen Entladung gegeben, sobald die beiden Federn *c* auf den Metallstücken schleiften; während dieser Zeit blieb dann der Schließungsbogen unverändert derselbe.

Um eine passende Stellung des Funkenmikrometers und des Auges zu gewinnen, berücksichtigte ich den durch eine geometrische Betrachtung leicht zu findenden Satz, daß nur wenn Gegenstand und Auge — bei endlicher Entfernung beider — gleich weit von der Drehungsachse des Spiegels entfernt sind, die beobachtete Winkelverschiebung des Bildes überall der dazu gehörigen Winkelverschiebung des Spiegels gleich ist, daß dagegen bei größerer Nähe des Auges die Bewegung des Bildes, gerade hinter der Drehungsachse gesehen, für den Beobachter ein Maximum, bei weiterer Entfernung aber für dieselbe Lage des Bildes ein Minimum ist. In gleicher Höhe mit dem Spiegel wurde daher über einer Ecke *H* des Kastens das Funkenmikrometer, und zwar so, daß der Funke mit der Vertikale zusammenfiel, über einer andern Ecke *G* aber ein Diaphragma befestigt, jedes etwa 130 mm von der Drehungsachse entfernt. Durch die Wahl dieser Entfernung wurde das Bild möglichst in die Weite des deutlichen Sehens versetzt, und hiermit dem Auge das Beobachten wesentlich erleichtert. Hinter dem Spiegel wurde eine gebogene Pappe, auf welcher Abschnitte von verschiedener Größe markiert waren, in der Weise angebracht, daß das Bild stets auf dieser Skala zu liegen schien. Der Winkel, welcher zum Bogen gehörte, [13] den das Bild auf der Skala durchlief, mußte nun gerade das Doppelte von dem Drehungswinkel des Spiegels sein, und zwar entsprach hier der Verschiebung des Bildes um 1 mm Skala eine Drehung des Spiegels von $^9/_{40}$ Grad. Indem ich einen belegten Glasspiegel anwendete, trat der Übelstand ein, daß man von einem Gegenstande gewöhnlich drei Bilder wahrnahm[3]). Wenn nämlich das von der Belegung reflektierte Bild *a* in der Mitte liegt, sieht man auf der einen Seite ein direkt von der Vorderfläche reflektiertes Bild *b*, auf der andern Seite ein dreimal innerhalb des Glases reflektiertes Bild *c*. Da die beiden letzten Bilder übrigens bedeutend schwächer waren, als das Hauptbild, so konnte ich sie bei Beobachtung des Funkens durch ein hinreichend starkes diffuses Licht, wie es auch schon zur Wahrnehmung der Skala gefordert wurde, meistens zum Verschwinden bringen. Nur wenn die Lichtstärke des elektrischen Funkens ausnehmend groß war, wie bei Anwendung eines ganz metallischen Schließungsbogens,

schien dies nicht mehr möglich; doch mag die augenblickliche Blendung durch den großen Lichtglanz vielleicht einen Teil der Schuld tragen. — Beide Elektromagnete wurden, wie schon erwähnt, durch ein und denselben Strom magnetisiert. Die Drahtumwicklung eines jeden leistete einen Widerstand von reichlich 50 m reduzierter Länge, so daß die Zahl von 12 Eisenzinkelementen, jedes mit einem innern Widerstand von gegen 10 m, zur Säule kombiniert, ungefähr den günstigsten Nutzeffekt lieferte. Im Anfange, als das Achathütchen noch unverletzt und die Reibung durch Abnutzung des Apparates an einzelnen Stellen noch nicht so groß geworden war, erzielte ich damit eine Rotationsgeschwindigkeit von gegen 40 Umdrehungen in 1 Sekunde. Waren die den galvanischen Strom [14] schließenden Federn gut eingestellt, und wendete man keine zu geringe Rotationsgeschwindigkeit an, so war die Bewegung des Apparates eine recht konstante und regelmäßige, wenigstens innerhalb einer nicht gar zu langen Zeit. Durch Einschaltung von mehr oder weniger Elementen und durch Veränderung des Federdruckes läßt sich die Rotationsgeschwindigkeit sehr bequem vermehren oder vermindern. Ich bestimmte die Rotationsgeschwindigkeit entweder direkt durch Zählen oder bei rascherer Drehung dadurch, daß ein am Spiegel befestigter Bleistift gegen ein Blatt Papier schlug, welches langsam in die Höhe gezogen wurde. Die Zahl der Striche, welche in einer bestimmten Zeit auf diesem Papier gemacht wurden, ließ dann leicht die Anzahl der Rotationen in einer Sekunde finden. Eine solche Bestimmung machte ich bei kurzen Beobachtungen unmittelbar nachher, bei längeren Reihen aber vor und nach denselben, und nahm das arithmetische Mittel, vorausgesetzt, daß keine zu große Abweichung der beiden Bestimmungen stattfand. — So viele Annehmlichkeiten dieser Apparat nun auch in mancher Hinsicht darbot, so will ich es doch nicht leugnen, daß er mir ebensowenig vollkommen genügte, wie die übrige Anordnung des Experimentes. Sichere Maßbestimmungen, soweit sie sich hier überhaupt hoffen lassen, darf ich daher erst von einer verbesserten Einrichtung erwarten.

Die Leidener Flaschen, welche gebraucht wurden, hatten eine belegte Oberfläche von zirka 360 qcm, eine Glasdicke von etwa 4 mm und einen Bindungskoeffizienten von ungefähr $^{13}/_{14}$. Der Durchmesser der Kupferkugeln*) am Funkenmikrometer

*) Ob eine Verschiedenheit in der Substanz der Polkörper die

[15] war 16 mm. Da, wie schon erwähnt, mit geringem metallischen Widerstande keine Beobachtungen zu machen waren, ging ich sofort zu sehr großen Widerständen über, welche aus Säulen destillierten Wassers bestanden, die in Glasröhren eingeschlossen waren. Dieselben fügte ich[4]) [70] in den Schließungsbogen ein, und zwar entweder in unmittelbarer Berührung mit der inneren Belegung der Leidener Flasche (in den Tabellen durch + bezeichnet) oder von ihr durch das Funkenmikrometer getrennt (in den Tabellen durch — bezeichnet). Die angewendeten Wasserfäden hatten folgende absolute und folgende reduzierte Länge, wenn man für die letztere einen Wasserfaden von 1 mm Dicke und 1 mm Länge zur Einheit*) nimmt.

[71] Wasserfäden.	Absolute Länge	Reduzierte Wasserlänge
a	67 mm	120 mm
b	67 -	90 -
b,	400 -	90 -
c	100 -	120 -
d	72 -	90 -

Derselbe Buchstabe in der Tabelle bezeichnet nun immer eine und dieselbe Röhre, in welche längere oder kürzere Kupferdrähte hineingesteckt wurden. Der Abstand der beiden Kupferdrahtenden in der Röhre war dann die absolute Länge des Wasserfadens.

Beobachtung des Funkens und Folgerungen. Indem ich verschiedene Widerstände zwischen 100 und 1000 meiner Widerstandseinheit einschaltete, beobachtete ich zwei wesentlich verschiedene Arten der Entladung, von denen bald die eine, bald die andere vorherrschend war.

Kontinuierliche Entladung. Die erste Entladungsart zeigte sich im rotierenden Spiegel in der Weise, daß ein Funke die Entladung einleitete, und sich nun von den beiden Enden des Funkens zwei leuchtende parallele Bänder (Fig. 2) ausbreiteten, welche bei sehr großem Widerstande (400 bis 1000 Einheiten) einen ganz dunklen Raum einschlossen, und vielleicht auf eine ähnliche Bewegung der Elektrizität hindeuten, wie

---

beobachteten Erscheinungen modifizierte, habe ich noch nicht untersucht.

*) Diese Einheit nenne ich zur Unterscheidung von der sonst gebräuchlichen »reduzierte Wasserlänge«.

sie die sogenannte dunkle Entladung*) darbietet. Verminderte man den Widerstand, so erstreckten sie sich mit allmählicher Abschwächung weiter in den dunklen [Zwischen-] Raum hinein, bis bei hinreichend kleiner Flüssigkeitssäule dieser ganze Raum mit Glimmlicht erfüllt schien (Fig. 3 und 4). Die Erscheinung dieser Bänder wurde stets durch einen gewöhnlichen Funken eingeleitet und hat mit dem Glimmlicht, welches man bei direkter Betrachtung des Funkenmikrometers oftmals dauernd auf den Kugeln wahrnehmen kann, wenn man die Flasche für große Schlagweite ladet, durchaus nichts gemein. Letzteres konnte nämlich seiner Schwäche wegen im rotierenden Spiegel überhaupt [72] nicht wahrgenommen werden. Die erwähnten Bänder erreichten meistens in einem oder mehreren Partialfunken ein plötzliches Ende; erschien in seteneren Fällen ein solches nicht, so nahmen sie kontinuierlich bis zum gänzlichen Verschwinden an Intensität ab.

Intermittierende Entladung. Die zweite Entladungsart zeigt eine Reihe im Anfange äquidistanter Partialfunken, deren Entfernung gegen das Ende der Entladung allmählich weiter wird (Fig. 6). Die Abstände sind nun zwar *ceteris paribus* bei verschiedenen Entladungen nicht immer dieselben; es zeigt sich aber, daß wenn die Abstände am kleinsten sind, in der Funkenreihe die größte Regelmäßigkeit herrscht. Man darf daher wohl annehmen, in diesem Falle die für den angewendeten Widerstand normale Art der Entladung zu erblicken, welche nur unterbrochen wird oder der kontinuierlichen Entladung streckenweise Platz macht, wenn mangelhafte Isolation oder andere störende Einflüsse sich während der Entladung geltend machen. Die Zeiträume übrigens, welche die regelmäßigen Partialentladungen trennen, entsprechen nicht Zeiten der elektrischen; Ruhe es findet vielmehr in diesen Zeiten die kontinuierliche Entladung statt, wie man solches deutlich bei geringerem Widerstande wahrnimmt, wo die Zwischenräume nicht absolut dunkel erscheinen, sondern die Funken nur als Lichtmaxima hervortreten; bei größerem Widerstande ist die kontinuierliche Lichterscheinung jedoch zu schwach, um zwischen zwei nahen Partialfunken wahrgenommen werden zu können. Wenn man überdies nun noch bedenkt, daß die zweite Art der Entladung leichter bei großem, die erste leichter bei kleinerem

*) Faradays Exp. res. in Phil. Trans. 1838, Ser. 13 § 1544 (auch Ostwalds Klassiker Nr. 128, S. 83).

Widerstande zu erhalten ist, so könnte man es wahrscheinlich finden, daß die intermittierende Entladung mit abnehmendem Widerstand immer mehr in eine kontinuierliche übergeht, und daß bei kurzem metallischen Schließungsbogen die letztere unter allen Umständen allein nur noch vorherrscht.

Keine dieser Entladungsarten tritt übrigens mit großer Konstanz ein, denn meistenteils sieht man ein unregelmäßiges [73] Gemisch aus beiden, d. h. einzelne Funken leiten die kontinuierliche Entladung ein, deren Verlauf nun bei ein und demselben Widerstande sehr verschieden ist, indem die beobachteten Bänder bald länger, bald kürzer sind, bald sich bis zum Verschwinden abschwächen, bald aber schon früher durch einen neuen Funken oder durch eine kurze Funkenreihe begrenzt werden (Fig. 5). Die Fälle, in denen man eine lange, ganz regelmäßige Reihe von Funken wahrnahm, traten seltener, allein zur genügenden Beobachtung hinreichend zahlreich ein.

Auch für die direkte Betrachtung des Entladungsfunkens bieten diese beiden Arten der Entladung eine beachtenswerte Verschiedenheit dar, und vielleicht darf man erwarten, durch ein tieferes Studium der Entladungsweise über manche merkwürdige beim elektrischen Funken beobachtete Licht- und Farbenänderungen Aufschluß zu erhalten. Die kontinuierliche Entladung, welche bei den größten Widerständen eine nur ganz untergeordnete Rolle spielt, und daher bei Anwendung einer kleineren Wassersäule beobachtet werden muß, zeigt sich hier als ein homogener Funke von mäßigem Durchmesser und ist für das Ohr als ein einziger matter Schlag vernehmbar*). Die intermittierende Entladung verbreitet dagegen stets ein zischendes Geräusch, und meistens sieht man statt eines einzigen Funkens einen breiten Funkenbüschel**) mit oft deutlichen Zwischenräumen. Die einzelnen Lichtstreifen dieses Bündels sind offenbar die in der Zeit aufeinanderfolgenden

*) Die übereinstimmende Beobachtung von Riess bei seinen letzten Untersuchungen hat mich daran erinnert, daß ich es versäumt, in meiner ersten Beschreibung der Versuche auf die Farbenverschiedenheit bei beiden Entladungsarten aufmerksam zu machen. Der Funke der kontinuierlichen Entladung (bei den kleinsten Widerständen) hatte eine gelbliche Färbung angenommen, während bei intermittierender Entladung eine rote, vielleicht ein wenig ins Violett hinüberspielende Farbe hervortrat.

**) Die Bezeichnung Büschel ist eigentlich nicht zutreffend, da es scheint, als wenn die aufeinanderfolgenden Funken alle annähernd in derselben Ebene liegen.

Partialfunken, welche indes [74] so rasch folgen, daß unser Auge sie für gleichzeitig hält*). Den Beleg hat man deutlich genug in der Erscheinung der Funkenreihe im rotierenden Spiegel.

Beständigkeit des Funkenkanals. Wenn das Funkenmikrometer nicht vor der Luftbewegung geschützt ist, die der Rotationsapparat erzeugt, so zeigen sich die ersten Funken fast immer ganz gerade, fangen aber bald an, nach der Seite, wohin der Luftzug geht, sich auszubiegen, und krümmen sich nun mehr und mehr gegen das Ende hin. Die Formveränderung ist dabei eine kontinuierlich von einem zum andern Funken fortschreitende und selbst wenn die Linie des Funkens an einer Stelle stumpf eingeknickt ist, so verfolgt man diese Winkelbiegung durch die ganze Reihe hindurch (Fig. 7). Dabei kann eine solche Einbiegung im Verlaufe der Reihe auch oft nach vertikaler Richtung eine geringe Lagenveränderung erleiden, so daß sie sich als schräge Linie durch die Funkenreihe hindurch zieht (Fig. 8), was gewiß nur einer geringen vertikalen Bewegung der Luft zugeschrieben werden darf. Dies alles scheint mir aber ein hinreichender Beweis dafür zu sein, daß jede Partialentladung unter allen Umständen nur den Weg einzuschlagen sucht, welchen schon die zunächst vorhergehende genommen hat.

Zeitabstand zweier Partialentladungen im Verhältnis zur Schlagweite. Es schien mir nun von Interesse zu sein, das Zeitintervall, welches zwischen zwei Partialfunken verfließt, für verschiedene Schlagweiten und verschiedene Widerstände kennen zu lernen. Die Beobachtungen, welche zu verschiedenen Zeiten gemacht wurden, bieten jedoch durchaus nicht die Übereinstimmung, welche man von ihnen verlangen könnte, so daß die schließlich gefundene Zeit keinen Anspruch auf absolutes Maß machen darf. Eine solche absolute Bestimmung würde übrigens auch von geringerem Werte sein, solange man Polkörper mit einer [75] unregelmäßigen Form anwendet, wie sie an dem Funkenmikrometer durch die Kugeln mit Klemmschraube und Hülse gebildet werden. Nimmt man aber von den gefundenen Zahlenwerten stets die kleinsten, so scheint man

*) Die von Dove an einem rotierenden farbigen Kreisel beobachtete Diskontinuität des Blitzes beruht vielleicht auf nichts anderem, als dem großartigen Auftreten der oben beschriebenen intermittierenden Entladung.

sich der Wahrheit am meisten zu nähern, indem dann die größte Übereinstimmung hervortritt. Da gegen das Ende der Funkenreihe die Intervalle zunehmen, bestimmte ich dieselben natürlich stets nur am Anfange der Reihe. Nachfolgende Tabelle zeigt, in welchem Sinne das betrachtete Zeitintervall von der Schlagweite abhängt. Für die erste Hälfte der Tabelle maß ich die Funkenabstände in der Weise, daß ich abschätzte, wie viele Funken auf einem Skalenstücke von $2^1/_2$ mm oder 5 mm zu liegen schienen; zugleich waren hier die Beobachtungen so angestellt, daß mit der geladenen und vom Konduktor der Elektrisiermaschine entfernten Flasche der Entladungsfunke im Schließungsbogen durch Näherung der Kugeln des Funkenmikrometers herbeigeführt wurde. Für die zweite Hälfte und bei allen übrigen Versuchen wurde der Abstand direkt abgeschätzt und die Flasche während der Entladung mit dem Konduktor in Verbindung gelassen; zuvor hatte ich mich jedoch überzeugt, daß weder diese Kombination, noch auch die weitere Hinzufügung einer zweiten Flasche einen merklichen Einfluß auf den Abstand der Partialentladungen äußere, daß also — natürlich nicht unter eine gewisse Grenze auszudehnen — die Größe der elektrischen Oberfläche gleichgültig sei. Es schien im allgemeinen die letzte Beobachtungsart schwankendere Werte zu geben, als die erste, und wenn nachstehende Zahlen sonst wohl deutlich genug zu erkennen geben, daß das Zeitintervall mit zunehmender Schlagweite abnimmt*), so können die Beobachtungen mit den Widerständen c nur dazu dienen, von den Unregelmäßigkeiten, welche besonders bei [76] frisch gefüllten Widerstandsröhren manchmal eintreten, einen Begriff zu geben.

Zeitabstand zweier Partialentladungen im Verhältnis zum Widerstande. Was nun die Beobachtungen mit verschiedenen Widerstandsröhren anbelangt, so boten dieselben, wenn sie an verschiedenen Tagen angestellt waren, wie gesagt, nicht die erforderliche Übereinstimmung, und zwar gaben die meisten Röhren für das Intervall zwischen zwei Partialfunken kurz nach ihrer Füllung viel größere (auch schwankendere) Werte, als nach einiger Zeit. Der Grund dafür ist mir bis jetzt noch

*) Eine gewiß auffallende Erscheinung, wenn auch Riess sie schon vermutet und vorhergesagt hat. In dem Bewußtsein, daß das Auge im allgemeinen geneigt ist, einen gleichen Abstand bei kürzeren Linien für größer zu halten, als bei längeren, glaube ich jedoch vor einem Irrtum in dieser Hinsicht sicher gewesen zu sein.

Widerstand	Schlagweite in Millim.	Kleinster Zeitabstand der Partialfunken in Sekunden	Widerstand	Schlagweite in Millim.	Kleinster Zeitabstand der Partialfunken in Sekunden
	$5\frac{1}{2}$	0,000020		15	0,000058
	5	0,000022		10	0,000058
+ 2 a — 2 b	5	0,000020	+ 4 a	7	0,000060
	3	0,000031		5	0,000076
	$7\frac{1}{2}$	0,000045		10	0,000076
+ 2 a — 4 b	4	0,000078	— 6 d	7	0,000131
	13	0,000058		5	0,000163
	12	0,000067		10	0,000090
	9	0,000058	— 7 d	7	0,000112
+ 4 a	6	0,000087		5	0,000158
	6	0,000099		10	0,000095
	5	0,000099	— 5 d	5	0,000122
	4	0,000116		15	0,000099
	13	0,000058		15	0,000087
	12	0,000058		10	0,000062
	10	0,000070	+ 3 c	10	0,000074
+ 4 a — 4 b	9	0,000070		7	0,000074
	7	0,000087		5	0,000108
	7	0,000116		10	0,000107
	6	0,000116		10	0,000079
			$+ 4\frac{2}{3}$ c	7	0,000090
				7	0,000076
				4	0,000152

gänzlich verborgen geblieben, denn ehe ich demselben nachforschen konnte, war ich genötigt, meine Versuche zu unterbrechen. Unter vielfachen Versuchen hebe ich daher nur diejenigen heraus, welche bei der konstanten Schlagweite von 7 mm und (die mit † bezeichneten ausgenommen) an einem und demselben [77] Tage mit schon mehrmals benutzten Röhren von mir gemacht worden sind. Die Beobachtungen sollen aber nur im allgemeinen zeigen, daß die Intervalle mit zunehmendem Widerstande wachsen; ein Gesetz für dies Wachsen läßt sich nicht daraus ziehen, obschon es nach fast allen von mir gemachten Beobachtungen den Anschein gewinnt, als wenn die Zeitintervalle zwischen zwei Partialentladungen schneller wachsen, als die Widerstände. Ich habe bei folgenden Beobachtungen das Experiment so angestellt, daß der Konduktor der Maschine stets mit der inneren Belegung der Leidener Flasche in Verbindung blieb; nur bei den mit † bezeichneten Beobachtungen war er mit zwei Flaschen verbunden.

[red. Wasserlänge[5]) in Millimeter	Widerstand	Rotationen in 1 Sekunde	Abstand der Partialfunken in Millimeter	Kleinster Zeitabstand der Partialentladungen in Sekunden
+ 1110	+ 9¼ c	7,4	2 bis 2½	0,000174
+ 990	+ 8¼ c	4,2	¾ „ 3	0,000112
		7,0	1¾ „ 2¼	0,000152
+ 720	+ 6 c*)	7,0	¾ „ 1	0,000067
+ 600	+ 5 c	8,4	¾ „ 1	0,000057
+ 570	+ 4¾ c	14,0	1¼ „ 1¾	0,000056
+ 480	+ 4 c	13,0	1 „ 1½	0,000048
+ 360	+ 3 c	18,4	¾ „ 2	0,000022
− 210	− 2⅓ d	18,4	1 „ 1½	0,000034
− 270	− 3 d	18,4	2 „ 3	0,000068
		10,7	1 „ 1¼	0,000058
− 360	− 4 d	10,6	1¼ „ 1¾	0,000074
		10,7	1½	0,000087
+ 360 − 360	+ 3 c − 4 d	10,5	1	0,000060
		10,6	1¼ bis 1½	0,000074
+ 570 − 360	+ 4¾ c − 4 d	10,7	1¼ „ 1½	0,000073
+ 480 − 360	+ 4 a − 4 b	10,5	1	0,000060† [78]
+ 480]	+ 4 a	10,5	1	0,000060†

Man findet hier im allgemeinen wohl eine Bestätigung der schon von Riess gemachten Annahmen; nur bei Vergleichung derjenigen Zeitintervalle, wo ein Widerstand entweder einseitig oder symmetrisch in bezug auf das Funkenmikrometer angebracht war, stößt man auf etwas Auffälliges. Wenn man z. B. die beiden mit † bezeichneten Beobachtungen, wo ein Freund, dem ich die Erscheinung zeigte, ohne daß er die angewandten Widerstände kannte, gerade bei der zuletzt angeführten Beobachtung das größte Intervall wahrzunehmen glaubte, wenn man, sage ich, diese beiden Beobachtungen für entscheidend ansehen wollte, so dürfte man den Schluß machen, daß die Entladungserscheinung nicht geändert wird, wenn man an der einen Belegung einen beliebigen kleineren Widerstand anbringt, als er sich schon an der andern befand. Dies ließe sich allerdings recht schön mit einer theoretischen Vorstellung von der inter-

*) Einige Tage früher, kurz nach der ersten Füllung, hatte ich für + 6 c den Abstand zu 2½ mm bis 6 mm und daraus das kleinste Zeitintervall zu 0,000306 Sek. gefunden. Eine Polarisationserscheinung würde einen entgegengesetzten Einfluß geäußert haben, übrigens war von einer Ausscheidung der beiden Bestandteile des Wassers kaum eine Spur zu bemerken.

mittierenden Entladung vereinigen. Ich darf jedoch nicht verschweigen, daß in andern Fällen sich auch eine Vergrößerung des Zeitintervalles nach dem Einschalten des zweiten Widerstandes zeigte; indessen betrug dieselbe nie soviel, als sie betragen haben würde, wenn die Zeitintervalle, welche jeder Widerstand allein und einseitig angewandt gegeben, sich hier addiert hätten.

Dauer der Totalentladung. Ehe ich noch die regelmäßigen Reihen der Partialentladungen kannte, hatte ich mit kleineren Widerständen versucht, die Zeitdauer einer elektrischen Totalentladung zu bestimmen. Hier tritt aber eine neue Schwierigkeit hinzu, nämlich, daß der Rest einer Leidener Flasche bei Entladung durch eine Wassersäule *ceteris paribus* keineswegs konstant ist, vielmehr das Verhältnis der entladenen Elektrizität zur ursprünglichen Ladung in zwei extremen Fällen bei sehr großem Widerstande um das Dreifache verschieden sein kann, worauf ich später zurückkommen werde. Da indes ein mittlerer Wert zwischen diesen Extremen bei weitem am häufigsten eintritt, so bemerkte ich mir nur diejenige Länge des leuchtenden Bandes, welche ich in der Mehrzahl der Fälle auf der Skala [**79**] liegend wahrnahm; zugleich ward darauf acht gegeben, daß die ganze Entladung in einer Zeit stattfand, während welcher die schließende Feder des Rotationsapparates auf dem Metallstücke schleifte. Die angewendeten Flaschen waren stets mit dem Konduktor und dem einen Pole des Funkenmikrometers verbunden, während die Wassersäule am andern Pole desselben angebracht war.

Auf diese Weise habe ich nun einige wenige Beobachtungen an verschiedenen Tagen und mit verschiedenen Rotationsgeschwindigkeiten angestellt, welche nur im allgemeinen bestätigen können, was schon *a priori* klar, so wie durch andere Experimente auf indirektem Wege genügend konstatiert ist, daß die Dauer einer elektrischen Totalentladung sowohl mit dem Widerstande, als auch mit der elektrischen Oberfläche wächst. Ferner geht wohl mit Wahrscheinlichkeit daraus hervor, daß die Dauer zwar auch mit der Schlagweite zunimmt, jedoch in einem weit geringeren Verhältnisse, indem man bei fünffacher Schlagweite noch nicht einmal das Doppelte der Dauer findet*). Zur Be-

*) Wenn nachher gezeigt wird, daß der Rest der Leidener Flasche nach der Entladung langsamer zunimmt, als die gesamte Quantität der [zugehörigen] Ladung, so muß dies hier von Bedeutung

urteilung der Beobachtungen muß noch erwähnt werden, daß die Entladungserscheinung fast immer eben so plötzlich zu enden schien, als sie begonnen, und daß eine allmähliche Abnahme ohne scharf bestimmte Grenze vielleicht nur bei dem kleinsten Widerstande stattgefunden haben kann. Eine geringe Abnahme der Lichtintensität gegen das Ende des leuchtenden Bandes zeigte sich freilich stets [**80**].

Widerstände	Dauer der Totalentladung in Sekunden			
	1 Leidener Flasche		2 Leidener Flaschen	
	2 mm Schlagweite	10 mm Schlagweite	2 mm Schlagweite	10 mm Schlagweite
$-\frac{1}{10}$ b,	0,0012 0,0012	0,0014 0,0015	0,0015	0,0020
$-\frac{1}{5}$ b,	0,0016	0,0020	0,0025	0,0029
$-\frac{1}{4}$ b,	0,0049	0,0078		
$-\frac{1}{2}$ b,	0,0061 0,0065 0,0070	0,0106 0,0129 0,0115 0,0117	0,0146	0,0230
— b	0,0092	0,0146 0,0143		
— 2 b	0,0136	0,0172 0,0183	0,0250	0,0293 0,0310 0,0362

Messung der in einer Totalentladung ausgeglichenen Elektrizitätsmenge. Was das Verhältnis der ausgeglichenen Elektrizitätsmenge zur ganzen ursprünglichen Elektrizität bei Entladung einer Leidener Flasche durch einen bestimmten großen Widerstand betrifft, so habe ich nicht die Gelegenheit gehabt, die Widerstände hinreichend zu variieren. Es lag daher in meinem Plan, diese Frage nach weiterer Ausführung der beabsichtigten Versuche bei einer andern Gelegenheit zu erörtern;

---

sein. Denkt man sich nämlich den Rest der Leidener Flasche stets als einen konstanten [aliquoten] Teil der Ladung und legt die Annahme von Partialentladungen, welche sich nur langsam mit zunehmender Schlagweite einander nähern, zugrunde, so dürfte man eher eine Abnahme der Gesamtdauer mit wachsender Schlagweite erwarten.

die enge Verbindung indessen, in der dieselbe mit dem Thema gegenwärtiger Abhandlung steht, bestimmt mich, die zwei Beobachtungsreihen, welche ich bis jetzt nur noch habe anstellen können, hier mitzuteilen. Die Quantität der bei Entladung der Leidener Flasche ausgeglichenen Elektrizität scheint zwar für geringe Widerstände des Schließungsbogens bei den verschiedensten Ladungen immer ein bestimmter aliquoter Teil der letzteren zu sein, verliert jedoch bei sehr großen eingeschalteten Widerständen diesen beständigen Charakter vollständig [81].

Die durch eine Entladung*) ausgeglichene Elektrizitätsmenge wurde auf die Weise bestimmt, daß ich beobachtete, um wieviel die Kugeln des Funkenmikrometers genähert werden müßten, damit nach einer Entladung eine zweite oder vielleicht auch eine dritte, vierte usw. herbeigeführt wurde**).

Bei dem kleineren Widerstande (240 mm red. W.-L.) las ich unmittelbar die Veränderung der Schlagweite von einer Entladung zur andern an dem Nonius ab. Bei dem größten Widerstande (4830 mm red. W.-L.) war diese Veränderung indes zu gering; ich mußte daher mehrere (3 bis 6) Entladungen eintreten lassen, wodurch die gefundene Abnahme der Schlagweite von einer Entladung zur andern — die ersten Zahlen bei *B* in der nächsten Tabelle — schon mehr die Natur eines mittleren Wertes erhielt. Drei bis sechs auf solche Weise bei ungefähr derselben Ladung beobachtete Mittelwerte kombinierte ich dann zu einem einzigen Mittelwert und habe für diesen das fragliche Verhältnis berechnet. Während ich für den größten Widerstand, bei dem die Ladung der Flasche ganz allmählich gesteigert wurde, alle einzelnen Beobachtungen angegeben habe, sind die Beobachtungen mit dem kleineren Widerstande nach vier Gruppen kombiniert, indem bei einer

*) Es war hierbei nötig, daß die Flasche niemals kurz vorher eine weit größere Ladung besessen hatte, als die gerade angewendete, weil sonst das stets veränderliche Residuum, dessen Theorie Kohlrausch (Pogg. Ann. Bd. 91, S. 56 u. 179) gegeben hat, einen wesentlichen Einfluß äußerte.

**) Wenn die Schlagweite auch kein ganz genügendes Maß für die Quantität der Ladung und Entladung bietet, so habe ich doch darauf verzichtet, eine in der ersten Beschreibung [der Dissertation] meiner Beobachtungen auf ein paar Versuche gegründete Reduktion auf Ladungen einer Maßflasche hier wieder zu benutzen, weil eine Reduktion von Beobachtungswerten doch wohl nur dann erlaubt sein darf, wenn keine neuen unbekannten Fehler in die Rechnung eingeführt werden können.

einzelnen Gruppe nur um weniges verschiedene Ladungen angewendet waren. Demzufolge findet man in der bezüglichen Tabelle bei jeder Gruppe — aus welcher neben dem [82] Mittelwert nur noch der größte und kleinste für B/A gefundene Wert angeführt ist — auch die Zahl der Beobachtungen vermerkt, welche die Gruppe umfaßt.

Widerstand = 4830 mm reduzierter Wasserlänge.

A		B		B/A	A		B		B/A
Ladung durch Schlagweite in mm angegeben		Veränderung der Schlagweite von einer Entladung zur andern in mm			Ladung durch Schlagweite in mm angegeben		Veränderung der Schlagweite von einer Entladung zur andern in mm		
	Mittel		Mittel			Mittel		Mittel	
3,05		0,041			4,52		0,070		
06		054			57		070		
14	3,10	036	0,042	0,0135	67		070		
17		036			[83] 74	4,68	084	0,077	0,0164
					79		084		
3,24		0,037			79		084		
29	3,30	042	0,043	0,0133					
35		050			4,92		0,090		
					94		080		
3,42		0,044			95	4,96	100	0,084	0,0169
43		060			98		110	?	
43	3,44	048	0,051	0,0148	5,00		040		
48		050							
					5,30		0,060		
3,65		0,050			30		100		
67		050			31		096		
68	3,69	054	0,054	0,0146	32	5,34	090	0,089	0,0166
70		056			37		090		
76		060			45		100		
					5,50		0,100		
3,97		0,066			56		094		
97		066			66	5,61	120	0,105	0,0187
4,05		056			72		106		
05	4,03	056	0,060	0,0148					
07		054			5,80		0,100		
08		064			86		120		
					89	5,89	130	0,118	0,0200
4,34		0,060			90		112		
36		070			99		130		
36		070							
39	4,38	072	0,067	0,0153	6,02		0,126		
41		066			04		130		
41		066			17	6,13	140	0,123	0,0201
					21		120		
					25		100		

A		B		$\frac{B}{A}$	A		B		$\frac{B}{A}$
Ladung durch Schlagweite in mm angegeben	Mittel	Veränderung der Schlagweite von einer Entladung zur andern in mm	Mittel		Ladung durch Schlagweite in mm angegeben	Mittel	Veränderung der Schlagweite von einer Entladung zur andern in mm	Mittel	
6,30		0,124			8,06		0,225		
51	6,48	171	0,138	0,0212	13	8,17	232	0,203	0,0248
55		124			16		133?		
55		132			22		220		
6,70		0,150			22		188		
74		138			23		217		
77	6,78	164	0,147	0,0217	8,32		0,250		
81		142			44		305		
87		140			48	8,49	225	0,244	0,0287
7,22		0,187			60		200		
[84] 25	7,25	170	0,177	0,0244	61		240		
29		175			8,71		0,240		
7,39		0,175			78		225		
40	7,42	180	0,181	0,0244	99	8,93	285	0,270	0,0302
40		188			9,05		300		
48		180			10		300		
7,63		0,163							
92	7,85	210	0,198	0,0253					
8,01		220							

Von den unmittelbar nacheinander angestellten Beobachtungen sind in vorstehender Tabelle zwei als fehlerhaft ausgelassen.

Bei Betrachtung dieser beiden Tabellen wird es sogleich auffallen, daß übereinstimmend für beide Widerstände das Verhältnis (B/A) der ausgeglichenen Elektrizität zur ursprünglichen Ladung mit der Schlagweite zunimmt, und zwar sowohl für den Mittelwert aus einer Anzahl von Beobachtungen, wie auch für den Minimal- und den Maximalwert unter denselben. Als ich vorstehende Beobachtungen machte, waren mir die Verhältnisse der intermittierenden Entladung noch durchaus unbekannt, das gefundene Resultat mußte mich daher im höchsten Grade überraschen, da es mit einer theoretischen Vorstellung kaum vereinbar schien. Geht man nämlich von der Annahme einer kontinuierlichen Entladung aus, so ist kein Grund vorhanden, warum nicht auch bei großem Widerstande, eben wie bei einem kurzen metallischen Schließungsbogen, jener Quotient

Widerstand = 240 mm reduzierter Wasserlänge.

Zahl der Beobachtungen		A Ladung durch Schlagweite angegeben mm	B Veränderung der Schlagweite von einer Entladung zur andern mm	$\frac{B}{A}$
32	Max.	3,90	1,75	0,449
	Mittel	3,81	1,03	0,270
	Min.	3,80	0,60	0,158
35	Max.	5,60	2,50	0,446
	Mittel	5,25	1,61	0,307
	Min.	5,55	1,00	0,180 [85]
25	Max.	6,55	3,35	0,511
	Mittel	6,78	2,72	0,401
	Min.	6,70	1,40	0,209
16	Max.	8,70	5,10	0,586
	Mittel	8,30	4,17	0,502
	Min.	8,20	2,20	0,268

für die verschiedensten Ladungen konstant sein sollte*). Läßt man aber eine intermittierende Entladung zu, so könnte allerdings für große und kleine Widerstände eine Verschiedenheit dadurch hervorgebracht werden, daß bei den letztern nur die kontinuierliche Entladung auftritt. Auf welche Weise aber [86] die intermittierende Entladung eine Zunahme jenes Quotienten (B/A) bedingt, ist nicht ohne weiteres einzusehen, denn entweder übt die Zahl der Partialentladungen oder der Wert einer einzigen Partialentladung oder aber beides einen Einfluß aus. Was den Wert einer einzigen Partialentladung, d. h. das Verhältnis der durch sie ausgeglichenen Elektrizität zur ursprünglichen Ladung anbetrifft, so wird dasselbe nur von der auf den beiden Polkugeln (oder der einen, wenn die andere abgeleitet ist) vor der Entladung konzentrierten Elektrizitätsmenge abhängen, vorausgesetzt nämlich, daß man die statische Elektrizität auf dem dünnen Zuleiter von großem Widerstande vernachlässigen kann. Betrachten wir daher den mit der inneren Belegung verbundenen Polkörper. Der Kalkül ist bei der un-

*) Der Umstand, daß die Elektrizitätsmengen durch die Schlagweiten gemessen sind, würde hier nur eine geringe Abweichung von der Proportionalität erklären.

regelmäßigen Gestalt des Körpers nicht anwendbar, ein einfaches Räsonnement ist aber schon imstande, uns über den Sinn der Veränderungen aufzuklären, d. h. darüber, ob die im Momente vor der Entladung auf dem Polkörper konzentrierte Elektrizitätsmenge in gleichem Verhältnisse mit der Ladung der Flasche wächst oder aber auch rascher oder langsamer, und dies ist vorderhand hinreichend.

Es ist nämlich klar, daß ohne die verteilende Wirkung des abgeleiteten Polkörpers, der andere, welcher mit der inneren Belegung ein zusammenhängendes unveränderliches Massensystem bildet, immer den bestimmten aliquoten Teil der Gesamtladung auf seiner Oberfläche haben wird, was offenbar auch noch annähernd der Fall sein muß, wenn man den erstgenannten abgeleiteten Polkörper zwar als vorhanden, aber in einer hinreichenden Entfernung (also bei großer Schlagweite) annimmt. Denkt man sich denselben nun in größere Nähe versetzt, so wird einerseits die auf dem Polkörper des inneren Beleges vorhandene freie Elektrizität im Verhältnis zur Gesamtladung dieselbe bleiben, anderseits wird sich aber dort auch eine gewisse Quantität [87] gebundener Elektrizität*), entnommen aus dem Reservoir, infolge der verteilenden Einwirkung des abgeleiteten Polkörpers befinden. Diese Bindungserscheinung wird aber mit abnehmender Entfernung stets zunehmen; die gesamte auf dem Polkörper befindliche Elektrizität (für welche die zugehörige Ladung immer die Einheit des Maßes abgibt), ist also die Summe einer Konstanten und einer Variabeln, welche letztere mit zunehmender Schlagweite abnimmt; folglich wird man durch eine Vermehrung der Gesamtladung (womit zugleich die Schlagweite vergrößert wird) den Wert einer einzigen Partialentladung nicht in gleichem Maße erhöhen**).

Danach könnte die Veränderung von B/A, wenn dies Verhältnis allein durch den Wert der einzelnen Partialentladungen

---

*) Die Kapazität des Reservoirs wird jedenfalls so groß gedacht, daß der Abfluß dieser geringen Elektrizitätsmenge [d. i. der Zusatzmenge infolge der Bindung] die Dichtigkeit der freien Elektrizität in der Flasche nur unmerklich ändert.

**) Vielleicht dürfte die Sache an Klarheit gewinnen, wenn man darauf aufmerksam macht, daß ebenso gut wie die Flasche, auch das System der beiden Polkörper als ein elektrischer Kondensator angesehen werden kann, nur mit dem Unterschiede, daß hier die Dicke der isolierenden Schicht eine veränderliche ist.

bedingt würde, nur in umgekehrtem Sinne erfolgen, als das Experiment es lehrt; um so mehr müssen wir daher nach einer andern Ursache suchen, welche den Einfluß der eben gefundenen Variabeln nicht allein zu kompensieren, sondern sogar zu überwiegen vermag. Die Kenntnis der Phänomene, wie ich sie bei der intermittierenden Entladung beobachtet habe, möchte hier einen Fingerzeig geben können. Erinnert man sich nämlich daran, daß der Zeitabstand zweier Partialentladungen mit wachsender Schlagweite geringer wird, so scheint es, mit Rücksicht auf die durch jeden Partialfunken bewirkte Luftveränderung, eine natürliche Folge zu sein, daß die Gesamtzahl der Partialentladungen in gleichem Sinne mit Ladung und Schlagweite zunimmt; diese Zunahme, von welcher wir indes noch nichts näheres wissen, kann nur möglicherweise bei wachsender Schlagweite den schwächenden [88] Einfluß der elektrostatischen Anordnung sogar überwiegen. Nachdem ich später die intermittierende Entladung auch für eine direkte Beobachtung kennen gelernt hatte, war es mir aber gar nicht mehr zweifelhaft, daß ich es bei obigen beiden Widerständen (4830 mm und 240 mm red. W.-L.) fast ausschließlich mit dieser Entladungsweise zu tun gehabt hatte.

So scheinen also zum Teil die gemachten Beobachtungen sich gegenseitig zu bestätigen.

[171] Über elektrische Wellenbewegung[6]).

Die ersten Hauptresultate einer Experimentaluntersuchung wie ich dieselben der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften vorzulegen die Ehre habe, beziehen sich auf die Art der Elektrizitätsbewegung in nicht auf sich selbst zurückkehrenden Leitern von geringem Widerstande. Wenn Theorie und Erfahrung im Gange der Wissenschaft immer abwechselnd einander vorauszueilen pflegen, so muß man sagen, daß auf dem hier bewährten Gebiete die Theorie einen wesentlichen Vorsprung gewonnen hatte. Helmholtz hat nämlich schon [1847] in seiner »Erhaltung der Kraft« [S. 44] auf den richtigen Gesichtspunkt hingedeutet, Thomson [Sir William, seit 1892 Lord Kelvin] hat dann aus demselben Prinzip wie Helmholtz eine vollständige Entwicklung der elektrischen Bewegungsgesetze im allgemeinen versucht, während Kirchhoff noch eingehender und unter bestimmten Voraussetzungen [Pogg. Ann. d. Phys. u. Chem. 1857, Bd. 100, S. 209 u. ff., Bd. 102, S. 529 u. ff.] diese Gesetze verfolgt hat. Aus den letzten beiden Untersuchungen geht nun hervor, daß unter gewissen Bedingungen die elektrische Bewegung in Form von Wellen stattfindet, deren Verlauf Kirchhoff sich ähnlich vorstellt wie bei den Schallwellen in einem longitudinal schwingenden Stabe. Wie diese an den Enden des Stabes werden jene an den Enden des Leiters reflektiert und durchlaufen die begrenzte Bahn hin und her, bis durch die dabei stattfindenden Molekularwirkungen in dem ponderabelen Träger, sämtliche Spannkraft, welche die geschiedenen Elektrizitäten besaßen, in Arbeit umgewandelt ist.

Diese Art der elektrischen Bewegung widersprach zwar den Erfahrungen in keiner Weise, vielmehr waren die normale und anomale Magnetisierung der Stahlnadeln, die gleichzeitige Ausscheidung von Wasserstoff und Sauerstoff an beiden Polen bei Entladung der Leidener Flasche, sowie vielleicht auch

manche eigentümliche Änderungen in der Wärmeentwicklung, wie sie [172] besonders Riess in neuerer Zeit beobachtet, ferner manche Lichtphänomene wohl geeignet, die Wahrscheinlichkeit dieser Entladungsart zu befürworten, allein sie nachzuweisen, war nicht gelungen.

Eine Untersuchung über die Entladung der Leidener Flasche unter den verschiedensten Verhältnissen hat mich, nachdem ich bereits früher [1857] die Gesetze der Entladung bei sehr großen eingeschalteten Widerständen bekannt gemacht, jetzt in den Stand gesetzt, nicht nur im allgemeinen den bestimmten Nachweis jener Entladungsart zu führen, sondern auch im speziellen die Resultate der Rechnung mit der Erfahrung zu vergleichen.

Ein rotierender Hohlspiegel dient mir dazu, die Veränderungen, welche im elektrischen Funken vor sich gehen, räumlich darzustellen und als ein objektives Bild auf eine Ebene zu projizieren. Eine an den Ort des Bildes gestellte photographische Platte macht es mir möglich, die momentane Erscheinung, frei von jeder subjektiven Täuschung, in Ruhe zu betrachten und die Zeitgrößen als Raumgrößen zu messen.

Dabei zeigte sich nun, daß im elektrischen Funken abwechselnd entgegengesetzte Strömungen auftreten, und daß die Zeit, welche verfließt zwischen einem Strommaximum und dem nächstfolgenden gleichgerichteten unter gleichbleibenden Bedingungen, eine ganz konstante ist. Diese Zeit aber, d. h. die Zeit einer elektrischen Oszillation, ändert sich im allgemeinen, wenn man die Bedingungen des Experimentes variiert. Es findet sich, daß diese Zeit mit der Quadratwurzel aus der elektrischen Oberfläche zunimmt, jedoch ist sie, insofern meine bisher nur an Kupfer und Blei zu diesem Zwecke angestellten Beobachtungen ein allgemein gültiges*) Gesetz ausdrücken, unabhängig von dem Querschnitt und dem spezifischen Leitungswiderstand des Schließungsdrahtes, desgleichen auch von der Dichtigkeit der angehäuften Elektrizität; dies schließt sich recht wohl den Untersuchungen [173] Kirchhoffs an, der bekanntlich in seiner Abhandlung zu dem Resultate kommt, daß die Geschwindigkeit der elektrischen Fortpflanzung konstant

*) Beim Eisen könnte infolge der Magnetisierungen eine Abweichung hervortreten, indes zeigt der Versuch, daß dieselbe keinenfalls bedeutend ist, übrigens in dem Sinne erfolgen müßte, als wenn die Elektrizität beim Eisen ein größeres Hindernis fände, als bei den übrigen Metallen.

ist, also unabhängig von diesen drei Größen. Ist nämlich die Geschwindigkeit der Fortpflanzung konstant, so muß in einem Schließungsbogen, bei dem nur diese drei Größen verändert werden, dessen Länge sich also gleich bleibt, die Zeit, welche vergeht, damit ein Strommaximum zweimal die Unterbrechungsstelle durchläuft, dieselbe bleiben, vorausgesetzt, daß auch der Abstand zweier Strommaxima, d. h. das, was man sich als Wellenlänge vorstellen müßte, sich nicht ändert. Hierbei ist jedoch zu bemerken, daß das Gesagte nur für einen einfachen Leitungsdraht gilt. Wollte man den Querschnitt dadurch vergrößern, daß man Drähte an ihren Enden nebeneinander verbände, so müßte die Induktion des Leiters auf sich selbst eine andere, nämlich geringere werden. In der Tat zeigt nun auch das Experiment, daß, wenn man den Leitungsdraht durch Substitution von mehreren dünneren Drähten gleichsam spaltet, die Schwingungsdauer beträchtlich abnimmt*).

Ferner zeigt es sich, daß die Zeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden Strommaximis von der absoluten Länge des Leiters abhängig[7]) ist, und zwar wächst sie nicht, wie man erwarten könnte, in direktem, einfachen Verhältnis mit der Länge, sondern ist vielmehr innerhalb der bisherigen Grenzen meiner Beobachtung annähernd der Wurzel aus dieser Länge proportional. Über die Art der elektrischen Wellen habe ich an das Experiment bis jetzt noch keine Frage richten können; wenn die Beobachtung aber an verschiedenen Stellen eines hinreichend langen Leiters gemacht wird, so kann dieselbe vielleicht auch darüber direkten Aufschluß geben. Dann erst würde es mir erlaubt sein, auch auf experimentellem Wege einen Schluß auf die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der elektrischen Bewegung zu machen. Die Zahlenangaben für die Schwingungsdauer, aus welchen diese Gesetze folgen, sowie manches andere, muß ich einer späteren ausführlicheren Veröffentlichung vorbehalten.

In Übereinstimmung mit allgemeinen theoretischen [174] Betrachtungen zeigt die Beobachtung ferner, daß die Intensität jedes Strommaximums mit jeder folgenden Oszillation abnimmt, und zwar um so mehr abnimmt, je

*) Die Abnahme geschieht in der Weise, daß die Oszillationsdauer sich mit wachsender Zweigzahl rasch der Grenze nähert.

größer der galvanische Widerstand des Schließungsdrahtes ist.

Durch das spezifische Leitungsvermögen und den Querschnitt des Leitungsdrahtes wird also nur die Zahl der Oszillationen bestimmt, nicht aber ihre Dauer. Wenn nun diese Zahl bei wachsendem Widerstande stets abnimmt, so wird schließlich nur noch ein einziges Strommaximum übrig bleiben und die oszillierende Ladung hiermit ihre Grenze erreichen. Der dazu nötige Widerstand — unter den mir dargebotenen Verhältnissen eine Flüssigkeitssäule von etwa 100 bis 150 Jacobischen Widerstandseinheiten — vermittelt dann den Übergang in die kontinuierliche Entladung, wie ich sie schon a. a. O. beschrieben habe.

[13] Die oszillatorische elektrische Entladung und ihre Grenze[8]).

In der Mitteilung, welche ich am 13. Aug. 1859 der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu machen die Ehre hatte, konnte ich die Gesetze angeben, nach welchen sich die Dauer der elektrischen Oszillationen ändert; allein ich war nicht imstande, unter verschiedenen Umständen die Grenze genau zu bestimmen, bei welcher die oszillatorische Entladung in die kontinuierliche übergeht. Ich habe mittlerweile verschiedene Wege versucht, um in diesem Punkte genauere Resultate zu erzielen.

Folgendes Verfahren scheint die besten Resultate zu liefern. Man schaltet als Schließungsdraht einen Leiter von geringem Widerstande, aber von großer Länge ein. Nach meiner vorigen Mitteilung ist es nämlich bekannt, daß die Oszillationsdauer mit der absoluten Länge des Leiters zunimmt. Nachdem ich auf dem Boden des Augusteums, der mir von der Universität gütigst zur Verfügung gestellt war, eine Drahtlänge von über 1300 m Kupferdraht von ungefähr $\frac{1}{2}$ Linie Dicke aufgespannt habe, verlangsame ich bei Anwendung dieses Schließungsdrahtes die Oszillationsdauer dergestalt, daß man, schon bei nur 20 bis 30 Rotationen des Spiegels in der Sekunde, die Oszillationen auf der matten Glasplatte, welche das vom Spiegel reflektierte Funkenbild auffängt, vortrefflich mit dem Auge unterscheiden kann. Hat man keinen weiteren Widerstand in die Leitung eingeschaltet, so sind die Oszillationen sehr zahlreich, vielleicht oft mehr als 20. Allein bringt man mit verdünnter Schwefelsäure gefüllte Röhren in die Leitung, so wird mit wachsendem Widerstande die Zahl der Oszillationen immer geringer, und schließlich kommt man zu dem Punkte, wo nur eine einzige Oszillation übrig bleibt, die nun ihrerseits kon-

tinuierliche Entladung genannt werden kann und mit wachsendem Widerstande an Ausdehnung stetig zunimmt [14].

Die direkten Beobachtungen des momentanen Funkenbildes können im wesentlichen nur qualitativer Art sein; aber dadurch, daß die zu messende Größe (der »Grenzwiderstand«) eine Qualitätsänderung in der Erscheinung bewirkt, ist durch die Beobachtungen eine quantitative Bestimmung möglich. Wann 3, wann 2, wann nur 1 Oszillation im Funken auftreten, läßt sich sehr deutlich erkennen, sobald das Funkenbild bei richtiger Akkommodation auf die Stelle des deutlichen Sehens der Netzhaut fällt.

Als erstes Gesetz habe ich gefunden, daß unter sonst gleichen Bedingungen die von mir angewendete Schlagweite keinen merklichen Einfluß äußert auf die Widerstandsgrenze, bei welcher die oszillatorische Entladung in die kontinuierliche übergeht. Bei den Versuchen mit einer Ladungshöhe von $1\frac{1}{2}$ mm und von 6 mm Schlagweite bedurfte es desselben Widerstandes, um die letzte Oszillation allein zur Erscheinung zu bringen.

Bei Anwendung einer verschiedenen Flaschenzahl habe ich für die Grenze der oszillatorischen Entladung folgende Widerstände, angegeben in millimeterdicken Fäden verdünnter Schwefelsäure vom spez. Gew. 1,25 gefunden.

Flaschenzahl	Widerstand		
	beob.	ber.	Diff.
16	0,014 m	0,014	0,000
8	0,018	0,020	+ 0,002
4	0,025	0,028	+ 0,003
2	0,041	0,040	— 0,001
1	0,058	0,056	— 0,002

Man sieht aus den beobachteten Werten, daß mit zunehmender elektrischer Oberfläche der Widerstand, welcher die Grenze bildet, abnimmt. Das Gesetz der Abnahme folgt ebenfalls aus vorstehenden Beobachtungen, denn berechnet man die Widerstände nach der Formel

$$w = a \frac{1}{\sqrt{s}},$$

wo w der Widerstand, s die elektrische Oberfläche und a eine Konstante ist, so erhält man mit den beobachteten nahe über-

einstimmende Werte, so nahe, als die Art des Experimentes es überhaupt erwarten läßt.

[15] Man sieht also, daß schon bei einer elektrischen Oberfläche von nur mäßiger Größe der Widerstand sehr bedeutend sein muß, um die oszillatorische Entladung zu unterdrücken. So beträgt er z. B. 0,041 m verdünnter Schwefelsäure entsprechend 28600 m Kupferdraht von 1 mm Dicke für 2 Flaschen von zusammen 4,4 □ Fuß innerer Belegung.

Hätte ich die lange Leitung ausgeschaltet und die beiden Belegungen durch einen kurzen Leiter*) geschlossen, so würde der Grenzwiderstand freilich geringer ausgefallen sein. Frühere Beobachtungen**) über die kleinste Länge des Schweifes hatten nämlich für das eben erwähnte Beispiel den Widerstand 9,009 m verdünnte Schwefelsäure oder ca. 6000 m Kupferdraht von 1 mm Dicke ergeben. Wenn diese Zahl auch wegen der Schwierigkeit der damaligen Beobachtung auf keine große Genauigkeit Anspruch macht, so darf man doch den sichern Schluß daraus ziehen, daß jene Grenze des Widerstandes für die oszillatorische Entladung mit wachsender Leiterlänge weiter hinausrückt***)[9]).

Da der Widerstand von 6000 m bis 28600 m Kupferdraht ein recht bedeutender zu nennen ist, darf man wohl behaupten, daß fast alle Experimente älterer und neuerer Zeit, welche an einer Leidener Flasche mit einem vollen metallischen Schließungsbogen angestellt worden sind, es mit der oszillatorischen Entladung zu tun gehabt haben. Es erklären sich hierdurch manche bisher wenig berücksichtigte Beobachtungen älterer Forscher, von denen ich auf einige aufmerksam machen möchte und zugleich untersuchen, ob sich da vielleicht eine andere Methode zur Bestimmung des Grenzwiderstandes auffinden läßt.

Zuerst erinnere ich an zahlreiche, aber wie es scheint wenig bekannte Versuche von Bohnenberger. Dieser so ausgezeichnete Beobachter beschreibt in seinen »Beiträgen zur Elektrizitätslehre« Stck. III. eigentümliche Erscheinungen beim Durchschlagen eines Entladungsfunken durch eine Lage Papier,

*) Um einer richtigen Anschauung von den Vorgängen bei einer elektrischen Entladung zu folgen, muß man sich vor allem davor hüten, daß man nicht etwa einen langen und einen kurzen Leiter von demselben Widerstande in der Wirkung gleichsetzt.

**) Vgl. Ber. d. Königl. Sächs. Ges. d. W. Bd. 11, S. 171 u. ff.

***) Verschiedenheiten des Rückstandes kommen nicht in Betracht.

in deren Mitte sich ein Stanniolblatt befindet. Unter diesen [16] Umständen findet er nämlich, daß der Funke von jedem Pole bis zum Stanniol in immer zahlreicheren und kleineren Löchern die Blätter durchbricht, und daß einige dieser Löcher oder, wenn sie sich durch mehrere Blätter fortsetzen, ganze Reihen von Löchern ihren Wulst nach der positiven, andere nach der negativen Seite der Flasche gekehrt haben. Da wo ein Loch sich nicht weiter fortsetzt, also die Elektrizität zwischen den Blättern für eine kleine Strecke einen Seitenweg eingeschlagen zu haben scheint, ist stets ein Eindruck wie mit einem stumpfen Pfriem in die nächsten Blätter gemacht. Die großen Zentrallöcher in unmittelbarer Nähe der Pole zeigen dagegen an einer Stelle ihrer Peripherie eine Umbiegung nach der positiven, an einer andern nach der negativen Seite. Neben der ausführlichen Beschreibung gibt Bohnenberger zahlreiche Abbildungen der durchgeschlagenen Löcher, so daß man an der Richtigkeit seiner Beobachtungen wohl nicht zweifeln darf. Wie aus der Theorie der elektrischen Oszillationen für die Beobachtungen eine ungezwungene Erklärung abgeleitet werden könnte, brauche ich wohl nicht weiter auszuführen.

Hierdurch veranlaßt, untersuchte ich, ob nicht jener Grenzwiderstand vielleicht dadurch zu bestimmen sei, daß man ein Blatt Papier bei verschiedenen Widerständen der Leitung vom Funken durchbohren läßt. Es war ja möglich, daß man bei jenem gesuchten Widerstande, wo die kontinuierliche Entladung Platz greift, eine Ausbiegung des Lochrandes nach einer bestimmten Seite wahrnehmen würde, allein die Versuche gaben ein negatives Resultat. Die kontinuierliche Entladung zeigte bei einem dünnen Blatt Papier das Loch rein ausgeschlagen, ohne sichere Andeutung einer bestimmten Richtung des Stoßes.

Bei einem Stück Pappe war dagegen, jedenfalls durch die seitliche Wirkung der Explosion innerhalb der Masse, der Rand auf beiden Seiten nach außen aufgeworfen.

Eine andere merkwürdige Erscheinung zeigen die Priestleyschen Ringe und Flecke. Wie bekannt, treten sie an den gegenüberliegenden Punkten zweier durch die Luft getrennter Leiter auf, zwischen welchen die Elektrizität bei einer Flaschenentladung überspringt.

Im allgemeinen findet man auf jeder Fläche eine oder mehrere Stellen, wo die Oberfläche wie zerschmolzen erscheint, oder als wenn von derselben Teile herausgerissen sind [17], während sich in der Umgebung eine reiche Oxydschicht abge-

lagert hat. Die letztere bildet unter Umständen ein System von Ringen, in deren Mitte die Grübchen als ein Zentralfleck erscheinen. Versuche, welche ich anstellte, indem ich den Entladungsschlag zwischen blank polierten Messingkugeln stattfinden ließ, gaben folgende Resultate.

Beschränkt man die Zahl der Oszillationen auf eine einzige, so zeigt sich, daß am positiven Pol ein sehr kleines Grübchen, eingefaßt von einem feinen, aber dunklen Oxydringe, entsteht, während auf der negativen Kugel eine dünne, ausgebreitete Wolke von Oxyd sich bildet, je nach der Menge der angewendeten Elektrizität, bald mehr, bald weniger erkennbar*). Hat man die zweite Oszillation mit auftretend, so läßt sich auf dem negativen Pol außer der Wolke auch noch eine Spur von einem feinen Ringe und einem zerschmolzenen Zentrum erkennen, während man auf dem positiven Pole eine schwache, kaum sichtbare Wolke von Oxyd zu dem sich bildenden Ringe hinzutreten sieht, ähnlich wie sie bei der kontinuierlichen Entladung dem negativen Pole allein entsprach. Indem man durch Verringerung des Widerstandes eine größere Anzahl von Oszillationen bei der Entladung auftreten läßt, kann man die Grübchen und Wolken auf jeder Polkugel vermehren. Leider decken sie sich zum großen Teil, die eine Oszillation reißt teilweise das von der vorhergehenden gebildete Oxyd herunter, wodurch eine weitere Unterscheidung unmöglich wird; sonst würden die Priestleyschen Ringe ein vortreffliches Mittel abgeben, die Zahl der Oszillationen zu bestimmen. Wenn man keinen Spiegelapparat zur Verfügung hat, so halte ich die Priestleyschen Flecke immer noch für das beste Mittel**), den Übergangspunkt der oszillatorischen Entladung in die kontinuierliche annähernd zu finden. Ausgedehntere Versuche mit Polkörpern verschiedener Form und [18] Beschaffenheit würden möglicherweise die Brauchbarkeit dieser Methode noch erhöhen***).

---

*) Die Ausbreitung des Stromes von der positiven zur negativen Seite bietet nichts Überraschendes. Aus den elektrischen Lichterscheinungen ist derartiges längst bekannt, ich brauche nur an die baumförmige Ausbreitung des einfachen Konduktorfunkens zu erinnern.

**) Die kürzlich von Dr. Paalzow in den Berl. Monatsber. v. 9. Aug. 1860 veröffentlichte Methode zur Nachweisung der elektrischen Oszillationen dürfte sich vielleicht auch zur Bestimmung des Grenzwiderstandes eignen [10]).

***) Die von Riess in den Berl. Monatsber. (Sitzung v. 22. Okt. 1860) angekündigte Untersuchung, obschon sie einen ganz andern

Eine eigentümliche Angabe, die sich aus den Gesetzen der Oszillationen erklären läßt, rührt von Nairne her. Um das Zerspringen der Flaschen, was den älteren Forschern häufig nicht nur während der Ladung, sondern oft gerade in dem Augenblick der Entladung und nicht selten an mehreren Stellen zugleich widerfuhr, zu verhüten, schreibt derselbe vor, daß man die Batterie nie durch einen guten Leiter entladen dürfe, wenn derselbe nicht wenigstens 5 Fuß Länge habe. Da, wie ich gefunden*), die Oszillationen mit wachsender Länge des Schließungsdrahtes an Dauer zunehmen, das Maximum der Stromstärke also abnimmt, so ist es einleuchtend, daß durch größere Länge die »Schlagweite« der strömenden Elektrizität herabgesetzt wird. Die Fähigkeit, eine Glaswand zu durchschlagen, muß also für dieselbe Ladung ebenfalls eine geringere werden durch Verlängerung des Schließungsbogens. — Auch die Beobachtung von Priestley, daß nach dem Zersprengen der Batterie nicht immer bloß eine, sondern oftmals mehrere Flaschen zugleich zersprungen sind, scheint nach der Annahme von Oszillationen weniger unnatürlich.

Von älteren Versuchen**) möchte ich schließlich nur noch an diejenigen erinnern, welche von Lullin, Henley u. a. angegeben worden sind, um aus den Wirkungen des Entladungsfunkens die Richtung der elektrischen Materie bei der Entladung zu bestimmen. Sämtliche Versuche dieser Art geben nur mehr oder weniger unsichere Resultate; unter ganz beschränkten [19] Bedingungen sind die Prüfungsmittel brauchbar, und selbst dann sind die Angaben oft zweifelhafter Natur. Geht man von der Theorie der Oszillationen aus, so erklärt sich diese Unsicherheit höchst einfach, wenn man bedenkt, daß, wie auch die Bohnenbergerschen Beobachtungen und die Priestleyschen Flecke anzudeuten scheinen, die einzelnen

---

Zweck verfolgt und ganz andere Gesichtspunkte zugrunde legen muß, könnte dennoch hierüber einige Aufschlüsse geben.

*) [Vgl. oben S. 29.]

**) Die von Priestley in seiner Geschichte der Elektrizitätslehre (S. 479 der Übersetzung von Krünitz) angeführten Beobachtungen über den Ton des Entladungsschlages dürften wohl mit den Gesetzen der Oszillationen in keinen Zusammenhang zu bringen sein, obschon es merkwürdig bleibt, daß Priestley die Tonhöhe des Entladungsschlages mit wachsender elektrischer Oberfläche abnehmend, dagegen von der Höhe der Ladung fast unabhängig fand.

Oszillationen an der Unterbrechungsstelle in ihrer Wirkung und ihrem Wege einander nicht genau entsprechen.

Welch eine wichtige Rolle die Oszillationen und der Grenzwiderstand bei den Savaryschen Beobachtungen, ferner bei den Riessschen Untersuchungen über die Erwärmung bei Entladung in Flüssigkeiten spielen müssen, darauf habe ich schon früher ebenfalls hingedeutet.

[114] Eigentümliche Stromteilung bei Entladung der Leidener Batterie[11]).

Um die Elektrizitätsbewegung, welche bei Entladung eines elektrischen Kondensators stattfindet, im einzelnen näher kennen zu lernen, habe ich ein Galvanometer und ein Dynamometer konstruiert, welche im Gegensatz zu den meisten der früher gebräuchlichen Instrumente selbst sehr starken Batterieentladungen bei kurzem, gut leitendem Schließungsbogen den Durchgang gestatten, ohne einen Schaden zu erleiden*). Mit beiden [115] Instrumenten habe ich bemerkenswerte Resultate erlangt, doch möchte ich zunächst nur auf das Galvanometer und eine besondere Art der Verwendung desselben aufmerksam machen.

Es ist bekannt, daß, wenn in einer sehr kurzen Zeit eine Elektrizitätsmenge durch den Leitungsdraht einer Galvanometerrolle hindurchgeht, der Bogen, um welchen der Magnet bei der ersten Elongation aus seiner Ruhelage hinausgeworfen wird, dieser Elektrizitätsmenge proportional ist. Da die Ent-

*) Das Wesentliche liegt besonders in der vollkommenen Isolierung der einzelnen Windungen voneinander. Durch Umwickeln der über 1 mm dicken Kupferdrähte mit Kautschuk ist dies erreicht.

Ferner findet sich beim Dynamometer die wesentliche Einrichtung, daß die bifilar aufgehängte bewegliche Rolle mit der übrigen Leitung durch Spitzen in Verbindung steht, welche in Quecksilber tauchen, das mit verdünnter Schwefelsäure vom spez. Gew. 1,25 übergossen ist. Das logarithmische Dekrement läßt sich hierbei leicht unter 0,01 erhalten. Es ist jedoch veränderlich und muß daher bei Vergleichung von Versuchen untereinander häufig in Rechnung gezogen werden.

Die beiden Instrumente zeigen nach der Regel, daß bei Veränderung der elektrischen Spannung das Dynamometer quadratische

ladung einer Leidener Flasche immer nur eine gegen die Schwingungsdauer eines Magneten kurze Zeit in Anspruch nimmt, so ist nach der Theorie der Bogen, um welchen der Magnet bei der ersten Elongation gedreht wird, der entladenen Elektrizitätsmenge proportional*).

Will man hiernach ein Galvanometer einfach zu Quantitätsmessungen hindurchgehender Elektrizitätsmengen gebrauchen, so würde man einen mit Spiegel versehenen, an einem Kokonfaden hängenden Magneten benutzen, man würde denselben mit einem starken Kupferdämpfer und dann mit einer Drahtrolle umgeben, durch welche der elektrische Strom fließen kann, ohne von Windung zu Windung durchzubrechen. Die Konstruktion desjenigen Galvanometers, wodurch ich die eigentümliche Stromteilung beobachtet habe, ist auf solche Weise ausgeführt worden mit der einzigen Ausnahme, daß statt einer Rolle zwei gleiche Drahtrollen angebracht waren, die sich symmetrisch gegen den Magneten stellen ließen, so daß beim Durchfluß derselben Elektrizitätsmenge die eine Rolle dem Magneten dasselbe Drehungsmoment gab, als die andere.

Zum Zweck der Untersuchung wurden die beiden gleichen Rollen dieses Galvanometers an einer Stelle des Schließungsbogens so eingeschaltet, daß sie nebeneinander von dem elek-

---

Werte von denen des Galvanometers liefert, übereinstimmende Ablenkungen, und können dadurch die Richtigkeit ihrer Angaben bestätigen. Im folgenden Beispiel ist die Entladung von 10 Flaschen durch einen gegen 180 m langen Kupferdraht bewerkstelligt.

Schlagweite	Ablenkung des Galvan.	Dynamom.
4 mm	85,0	520
3 mm	65,7	303
2 mm	47,0	156
1 mm	26,3	44

Bei den Messungen am Galvanometer tritt der Übelstand ein, daß sich im Magneten zuweilen durch eine Entladung die magnetische Achse etwas verschiebt. Beobachtungen, nach denen eine solche Verschiebung der magnetischen Achse sich herausstellt, wie es besonders beim Beginn einer Beobachtungsreihe stattfindet, müssen als unbrauchbar verworfen werden, weil es sich zeigt, daß ihre Werte nicht in eine Reihe sonst gleicher Beobachtungswerte hineinpassen.

*) Die Beobachtungen zeigen in der Tat eine Proportionalität der Ausschläge mit der entladenen elektrischen Oberfläche, sowie eine Zunahme mit zunehmender Schlagweite (vgl. die vorhergehende Anmerkung).

trischen Strome durchlaufen werden mußten, indem der Strom sich zwischen beiden Rollen teilte. Jede Rolle bildete auf diese Weise einen Zweig zur andern.

[116] Die Drahtenden der Rollen ließen sich nun auf zweierlei Weise mit der Hauptleitung verbinden:

1) Die Verbindung war so, daß der Strom beide Rollen in gleichem Sinn durchlief. Da die beiden Rollen sowohl einander an Windungszahl gleich, als auch symmetrisch gegen den Magneten gestellt waren, so kann ich den erhaltenen Ausschlag

$$A = a + b$$

setzen, wo A die ganze entladene Elektrizitätsmenge, dagegen a die durch die eine Rolle gehende, b die durch die andere Rolle gehende Elektrizitätsmenge bezeichnet.

2) Die Verbindung war so, daß der Strom die Rollen in entgegengesetztem Sinne durchlief, also die eine Rolle den Magneten nach der entgegengesetzten Seite zu drehen suchte, als die andere. Ich erhielt hier den Ausschlag $a - b$. Setze ich

$$a - b = B,$$

so ist klar, daß $A < B$ sein mußte. Hatte ich die beiden Rollen mit ihren Zuleitungsdrähten genau gleich gemacht, so gab die Beobachtung, wie nicht anders zu erwarten war, $B = 0$.

Bei der letzten Anordnung unter (2), wo gar keine Ablenkung stattfand, schaltete ich nun in jeden Zweig einen kurzen, luftverdünnten Raum ein, welchen die Elektrizität durchbrechen mußte. Die Endigungen der Drähte, oder, um mich kürzer auszudrücken, die Elektroden waren an jeder dieser beiden Unterbrechungsstellen eine Fläche und ihr gegenüberstehend eine Spitze; jedoch war die Anordnung so getroffen, daß der Weg von der inneren Flaschenbelegung zur äußeren Belegung in dem einen Zweige mit der Richtung von Fläche zu Spitze, in dem andern Zweige umgekehrt mit der Richtung von Spitze zu Fläche zusammenfiel.

Durch diese Einschaltungen, sei es nun durch die entgegengesetzte Anordnung von Fläche und Spitze, sei es durch eine Verschiedenheit in der Länge der Luftstrecken, konnte die Leitungsfähigkeit der beiden Zweige eine verschiedene geworden sein. Ich hätte demnach erwarten können, daß der Ausschlag einen Wert zwischen Null und A zeigen würde.

So oft ich aber den Entladungsstrom bei diesem Arrange-

ment durch den gut leitenden Schließungsbogen gehen ließ, erhielt ich einen Ausschlag, welcher C heißen möge, der nicht allein den Wert A erreichte, wie ich ihn erhalten haben würde, [117] wenn die Elektrizität einfach von Fläche zu Spitze durch den einen Zweig allein abgeflossen wäre, sondern den Wert A sogar um ein Vielfaches übertraf.

In einem Falle, den ich als Beispiel herausnehme, erhielt ich als Mittel aus 10 Beobachtungen:

A	C
21,7	230

Hier beträgt der Ausschlag C mehr als das 10fache von A. Doch selbst auf das 16fache von A habe ich den Ausschlag durch Einschaltung jener beiden luftverdünnten Räume steigen sehen, während die gleichzeitige Kontrolle durch das Funkenmikrometer oder durch ein anderes in der Hauptleitung aufgestelltes Galvanometer ergab, daß die Quantität der schließlich entladenen Elektrizitätsmenge bei allen Anordnungen wesentlich dieselbe war.

Statt verdünnter Luft habe ich an jeder Unterbrechungsstelle zwischen Fläche und Spitze auch Flüssigkeiten einzuschalten versucht, und bei gut leitendem Schließungsbogen ebenfalls für C einen mehrfach größeren Wert von A erhalten, sowie den Sinn des Ausschlags in derselben Weise gefunden, nämlich so, als wenn ein positiver Strom sich von Fläche zu Spitze bewegte. Zugleich schien der Ausschlag größer und die Explosionserscheinung des Funkens an den Unterbrechungsstellen stärker zu werden mit abnehmendem Leitungsvermögen der Flüssigkeit.

Eine eingehendere Untersuchung dieser eigentümlichen Ausschlagsvermehrung unter verschiedenen Umständen habe ich jedoch nur mit verdünnter Luft als unterbrechendem Medium angestellt. Die Beobachtung hat mir folgende Resultate geliefert.

1) Mit dem Grade der Luftverdünnung nahm auch die Ausschlagsvermehrung ab.

2) Eine geringe Verschiedenheit in der Länge der Unterbrechungsstellen war ohne wesentlichen Einfluß auf den Ausschlag; Ungleichheiten oder Diskontinuitäten, die an andern Stellen der Zweig- oder Hauptleitung vorkamen, schienen größeren Einfluß üben zu können.

3) Mit Vergrößerung der elektrischen Oberfläche bei kon-

THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA

stanter Schlagweite nahm die Ausschlagsvermehrung (jedoch nicht einfach proportional, sondern langsamer) zu.

[118] 4) Auch mit Vergrößerung der Schlagweite bei konstanter elektrischer Oberfläche nahm die Ausschlagsvermehrung zu.

5) Der Widerstand des Schließungsbogens war von dem allergrößten Einfluß auf die Ausschlagsvermehrung; mit wachsendem Widerstande nahm dieselbe unter sonst gleichen Umständen ab, und bei dem Grenzwiderstande*) war der Ausschlag keine Vermehrung mehr, sondern dann fand sich

$$C < A.$$

6) Wurde der Widerstand noch weiter über den Grenzwiderstand hinaus vermehrt, so wurde nicht nur die Größe der Ablenkung selbst sehr variabel (obschon sie immer $< A$ blieb), sondern schließlich ward auch die Seite, nach welcher der Ausschlag erfolgte, wechselnd und unbestimmt; zugleich hatte die Licht- und Farbenerscheinung bei der Entladung im luftleeren Raume einen ganz andern Charakter angenommen.

Hier möchte man wohl die Frage aufwerfen, wie jene bedeutende Vermehrung des Ausschlages durch eine Entladung in einem gut leitenden Schließungsbogen bei dem von mir getroffenen Arrangement zu erklären sei.

Gaugain hat zuerst darauf aufmerksam gemacht, daß der Induktionsstrom mit verschiedener Leichtigkeit einen luftverdünnten Raum durchbricht, wenn in einem Falle die positive Elektrizität von einem beschränkten Punkte zu einer ausgedehnten Oberfläche, im andern Falle umgekehrt von einer ausgedehnten Fläche zu einem beschränkten Punkte der Leitung strömen muß**). Wenn man nun auch bei meinen Ver-

*) Über den Grenzwiderstand, bei welchem die oszillatorische Entladung in die kontinuierliche übergeht, s. diese Ber. Bd. 13, S. 13 [oben S. 31 u. ff.].

**) Wenn das Prinzip von Gaugain zur Sonderung entgegengesetzter Ströme nicht nur empfohlen, sondern auch schon angewandt ist, so gehe ich vorläufig doch weder auf seine Beobachtungen, noch auf die von Riess in den Berl. Monatsber. Juni 1855 veröffentlichten Beobachtungen näher ein, weil ich keine vollständige Übereinstimmung der beiden Beobachter, sei es in ihren Resultaten, sei es in der Deutung derselben, finde. Nur so viel will ich bemerken, daß die von Riess nach dem Gaugainschen Prinzip an der Leidener Flasche gemachten Beobachtungen am leichtesten mit meinen Beobachtungen in Einklang zu bringen sind.

suchen eine ungleiche Teilung des Stromes in beiden Rollen annimmt, so ist ein einfaches ungleiches Abfließen der Elektrizität doch [119] nicht imstande, den bedeutenden Ausschlag zu erklären. Denn wenn im günstigsten Falle der Teilung — den die Wahrnehmung einer Lichterscheinung an den beiden Unterbrechungsstellen sogar noch ausschließt*) — die Elektrizität durch einen Zweig allein abflösse, so könnte doch durch ein einmaliges einfaches Abfließen nur ein Ausschlag von der Größe A zustande kommen, während der Versuch ein Vielfaches von A liefert.

Ich will mich auf eine Erklärung hier nicht weiter einlassen, sondern nur bemerken, daß ich anders keine Möglichkeit der Erklärung einsehe, als wenn man die Annahme eines einfachen, sei es kontinuierlichen, sei es diskontinuierlichen Abfließens aufgibt und seine Zuflucht nimmt zu der Theorie der Oszillationen.

---

*) Falls sich der Strom in bestimmter Weise zwischen den beiden Zweigen teilte, müßte das Dynamometer, an die Stelle des Galvanometers gesetzt, über das Verhältnis der Teilung Aufschluß geben können. Ich ließ daher unter sonst gleichen Umständen eine mit Galvanometer und Funkenmikrometer als gleich gefundene Elektrizitätsmenge einmal *ohne* Anwesenheit der luftverdünnten Räume in den beiden Zweigen sich zwischen den Dynamometerrollen teilen, wobei ich als Mittel aus 10 Beobachtungen den Dynamometerausschlag

$$103$$

erhielt, ein andermal sich *mit* Anwesenheit der beiden luftverdünnten Räume in den beiden Zweigen teilen, wobei ich den Dynamometerausschlag

$$40$$

im Mittel erhielt.

Wenn die Elektrizitätsbewegung in beiden Fällen genau dieselbe wäre, und der Strom sich im ersten Falle in einem gleichen Verhältnis, im zweiten in einem ungleichen aber konstanten Verhältnis zwischen beiden Dynamometerrollen teilte, so müßte bei dem Ausschlage 40 in jedem Momente durch den einen Zweig 11%, durch den andern 89% gegangen sein, während bei dem Ausschlage 103 durch jede Rolle 50% gehend angenommen werden. Dies Raisonnement gilt auch bei Annahme von Oszillationen, wenn überhaupt ein von der Stromstärke unabhängiges konstantes Teilungsverhältnis existiert, ein Punkt, über den ich bis jetzt noch nichts Bestimmtes aussagen kann. Das unter 6. angeführte Resultat, sowie die Beobachtungen von Riess und Gaugain scheinen dagegen zu sprechen.

[437] Über die elektrische Flaschenentladung[12]).

I. [Direkte Beobachtung.]

Die Vorstellungen, welche man sich bisher über die Bewegung der Elektrizität zu machen gewohnt war, scheinen zum Teil einer wesentlichen Umgestaltung zu bedürfen. Eine längere von mir angestellte Untersuchung, von welcher ein Teil bereits in meiner Doktordissertation (Kiel, 1858, Schwersche Buchhandlung)*), ein anderer, wenn auch nur in vorläufigen Umrissen in den Berichten der Königl. Sächs. Gesellschaft der Wissenschaften Bd. 11, S. 171**) und Bd. 13, S. 13***) veröffentlicht worden ist, hat mir gezeigt, daß da, wo sich zwei geschiedene endliche Elektrizitätsmengen plötzlich miteinander vereinigen, die Art und Weise, wie man sich bisher den Vorgang der Vereinigung gedacht hat, in den meisten Fällen eine in der Natur nicht begründete ist. Man war gewohnt, die elektrische Entladung entweder als eine gleichmäßig vom Maximum der Stromstärke bis zum völligen Verschwinden des Stromes verlaufende Erscheinung aufzufassen, oder aber anzunehmen, daß an der Übergangsstelle der Elektrizität in der Luft ein stoßweiser Übergang in sogenannten Partialentladungen stattfinde. Die nähere Untersuchung zeigt, daß diese Entladungsarten zwar beide vorkommen, daß sie aber in fast allen Fällen, wo man einen metallischen Schließungsbogen hat, einer andern Entladungsart, der »*oszillatorischen*«, Platz machen, bei welcher die Elektrizitäten nicht nur in einer Richtung, sondern abwechselnd *hin* und *her* fließen.

Man war ferner allgemein der Ansicht, daß die elektrische Entladung durch einen Leiter von geringem Widerstande eine

*) [Siehe oben S. 5 u. ff.]
**) [Siehe oben S. 27 u. ff.]
***) [Siehe oben S. 31 u. ff.]

unmeßbar kleine Zeit in Anspruch nehme. Meine Untersuchung bestätigt diese Annahme nicht und führt zu dem Schlusse, daß die so vielfach angezogenen [438] Experimente von Wheatstone eine irrtümliche Deutung erlitten hatten. Selbst wenn man nach Wheatstone annehmen zu können glaubte, daß mit wachsendem Widerstande des Leiters die Entladung an Dauer zunehme, so zeigen meine Experimente, daß auch diese Annahme nicht im weitesten Umfange richtig ist, daß sogar in gewissen Fällen ein *direkter einfacher* Zusammenhang zwischen dem galvanischen Widerstande und der Dauer der Entladung fehlt.

Die in der Königl. Sächs. Gesellschaft der Wissenschaften gemachte Mitteilung gibt vollständig die Gesichtspunkte, von welchen fernerhin die elektrische Entladung betrachtet werden muß. Der besseren Übersicht wegen darf ich indes nicht unterlassen, eine allgemeine Analyse der elektrischen Entladung, wie sie nach meiner Untersuchung bei der Leidener Flasche stattfindet, noch einmal zu wiederholen.

Grundanschauungen von der Elektrizitätsbewegung während der Entladung. Schaltet man als Entlader zuerst einen möglichst geringen Widerstand ein, so treten in dem Leiter abwechselnd entgegengesetzte elektrische Ströme auf: Es findet die »*oszillatorische*« Entladung statt. Und zwar wird man sich die Sache nicht dergestalt zu denken haben, daß die Elektrizität nur so lange sich bewege, bis die disponible Ladung verzehrt, d. h. also bis von der positiven Belegung die Hälfte dieser Ladung verschwunden und gleichzeitig von der negativen Belegung eine andere Hälfte entgegengesetzter Elektrizität an der positiven Belegung angelangt ist, sondern derart, daß die Elektrizität in diesem Augenblicke, wo die beschleunigenden Kräfte aufhören, infolge eines ihr zukommenden Beharrungsvermögens ihre Bewegung noch in demselben Sinne fortsetzte*). Die Folge wird sein, daß [439] die elektrische Flasche eine disponible Ladung von negativer Elektrizität bekommt. Ist diese Ladung so weit vorgeschritten, daß die lebendige Kraft der bewegten Elektrizität durch das Wachsen der Spannkräfte von aufs neue geschiedenen elektrischen Massen verzehrt ist, so wird ein momentaner Ruhezustand

*) Wollte man sich die elektrische Bewegung als eine Schwingungsbewegung der materiellen Teilchen denken, so läge nichts im Wege, das Beharrungsvermögen in den schwingenden Teilchen zu suchen.

eintreten, und dann in derselben Weise eine Entladung der Flasche in entgegengesetztem Sinne von vorher stattfinden. Dann folgt ganz ebenso wieder eine positive Entladung, darauf eine negative usf. Wir haben die Erscheinung, daß die Elektrizität in wellenartigen hin und her gehenden Strömen den Draht durchläuft. Könnten wir uns einen widerstandslosen Leiter denken, so würden diese Oszillationen niemals aufhören; da aber jeder Leiter einen gewissen Widerstand bietet, und derselbe so wirkt, als wenn die Elektrizität eine Art Reibung in demselben erführe, wobei beständig ein Teil der lebendigen Kraft verbraucht (in Wärme verwandelt) wird, so muß die elektrische Bewegung nach einer größeren oder kleineren Anzahl von Oszillationen bald unmerklich werden. Dies ist unter verschiedenen Umständen bei 30, 20, 10 oder noch weniger Oszillationen der Fall. Hat man eine bestimmte Anzahl von Oszillationen beobachtet und vergrößert den Widerstand des Leiters, so zeigt sich diese Anzahl geringer. Bei jeder elektrischen Oberfläche gibt es einen gewissen Widerstand, bei welchem in dem Schließungsbogen von gegebener Form nur *eine* [halbe] Oszillation übrig bleibt. Dies ist der Punkt, wo die oszillatorische Entladung aufhört und einer andern Entladungsweise Platz macht. Von da an beobachtet man mit wachsendem Widerstande die »*kontinuierliche*« Entladung. Mit dem Durchbruch der Elektrizität in dem Funken stellt sich der elektrische Strom im Leitungsdraht her, erreicht bald ein Maximum, um fernerhin gleichförmig allmählich und mit dem Verschwinden der Elektrizität aus dem Reservoir abzunehmen; wenn von der disponiblen Ladung die halbe positive Elektrizität auf der äußeren, die halbe negative Elektrizität auf der inneren Belegung angekommen ist, hat jede Elektrizitätsbewegung auf[440]gehört. Der sehr rasch nach dem Eintritt der Entladung beständig abnehmende Strom wird schon bald für unsere Mittel der Wahrnehmung unmerklich. Die Wahrnehmbarkeit dauert jedoch um so länger, je weiter wir den Widerstand vergrößern. Aber auch hier dürfen wir den Widerstand nicht ins Unbegrenzte ausdehnen, denn bald erreichen wir mit wachsendem Widerstande einen Punkt, wo die kontinuierliche Entladung nicht mehr in ihrer vollen Reinheit auftritt; wir finden, daß dann keine Entladung der Flasche im eigentlichen Sinne stattfindet, ein zischender Funke stellt die Entladung dar, und wenn wir denselben untersuchen, zeigt es sich, daß er aus einer Menge einzelner Funken besteht. Wir haben

jetzt nicht mehr eine Entladung, die den ganzen Schließungsdraht in gleicher Weise trifft, sondern was sich entladet, sind in jedem Partialfunken die Polkörper des Entladungsapparates. Die Flasche [Kondensator], die entladen wird, ist das Funkenmikrometer, und seine Verbindung mit der Leidener Flasche bewirkt nur, daß es sich nach erfolgter Entladung sehr rasch wieder regeneriert. Diese Entladung habe ich bei Anwendung dünner Röhren, die zu Widerständen mit destilliertem Wasser gefüllt waren, schon früher beobachtet*) und »*intermittierende*« Entladung genannt.

Die *oszillatorische* Entladung zeigt die größte Regelmäßigkeit, die *kontinuierliche* Entladung wird wegen ihrer geringeren Stromstärke für jeden Moment schon mehr durch störende äußere Einflüsse, z. B. durch Luftströmungen oder Veränderung des Funkenkanales durch übergeführte Metallteilchen in ihrem Verlaufe alteriert. Es ist möglich, daß sie dasselbe wäre, was bei gewissen Entladungen des Ruhmkorffschen Apparates, die Aureole**) genannt worden ist, welche vielleicht von den langsamer nachfließenden Elektrizitäten der Spirale gebildet würde. Am wenigsten Regelmäßigkeit zeigt, wie ich an angezogenen Orten weiter erläutert habe, die intermittierende Entladung, weil hier auch noch die Veränderung der Polflächen durch jede Partialentladung auf die folgende von Einfluß sein muß.

[**441**] *Methode der Untersuchung.* Die obigen Vorstellungen über die Entladung resultieren aus einer Reihe von Untersuchungen, und die Existenz der hin und her fließenden Ströme ergibt sich aus so vielen Beweisen, daß ich darauf verzichten muß, dieselben unmittelbar aufzuführen; sie werden indes im Laufe der Veröffentlichungen alle an den geeigneten Orten zur Sprache kommen. Von den Methoden, welche die Oszillationen bewiesen haben, führe ich zurzeit nur diejenige auf, welche mir die eklatantesten Resultate geliefert hat. Es ist die Methode eines rotierenden Hohlspiegels.

Die Untersuchungen, welche ich nach dieser Methode ausgeführt habe, lassen sich in 2 Gruppen teilen, je nachdem ich die Beobachtungen direkt mit dem Auge gemacht oder den Dienst des Auges durch eine empfindliche photographische Platte versehen ließ. Die Resultate der letzteren Beobach-

*) Pogg. Ann. Bd. 103, S. 72 [oder hier S. 13].
**) Vgl. Rijke, Pogg. Ann. 1860, Bd. 111, S. 612 u. ff.

tungsweise sind da, wo eine hinreichende Lichtstärke ihre Anwendung gestattet, weit schärfer und sicherer, allein es treten manche besondere Schwierigkeiten dabei auf, so daß für andere Physiker ein Nachexperimentieren weniger einfach ist; aus diesem Grunde gebe ich zuerst und abgesondert für sich diejenigen Beobachtungen, welche zur ungefähren Orientierung dasselbe leisten und weit leichter sich nachmachen lassen; ich erläutere dabei nur diejenigen von mir gefundenen Gesetze, welche sich im wesentlichen auf Wahrnehmung mit dem bloßen Auge stützen.

Will man, wie Wheatstone es versucht hat, die Erscheinung der Funkenentladung in einem rotierenden *Planspiegel* beobachten, so ist man genötigt, Auge und Gegenstand dem Spiegel so nahe zu bringen, daß man das Bild aus der deutlichen Sehweite wahrnimmt. Anderenfalls wird die richtige Akkommodation zu schwer, und fast niemals erhält man ein deutliches Bild auf der Netzhaut. Doch selbst wenn man es erhielte, so müßte man wiederum zur Messung kleiner Zeitteilchen sehr große Rotationsgeschwindigkeiten anwenden, was einen größeren Aufwand am Apparat erfordert. Ferner wäre man zur Vermeidung eines [442] großen Luftwiderstandes auf einen kleinen Spiegel beschränkt, welcher wiederum ein kleines Gesichtsfeld zur Folge hätte. Diese Unzuträglichkeiten habe ich am folgenden Apparate beseitigt.

*Rotationsapparat (Taf. II, AB Fig. 1)**). In der Ecke eines kleinen Zimmers an der dicken Außenmauer befestigt befindet sich in schwerem gußeisernen Rahmen (*AB*) ein einfaches Uhrwerk aus 3 Rädern und aus einer Schraube ohne Ende auf einer vertikalen Spiegelachse (*a*) bestehend.

Eine Schnur (*b*), an der bis $1\frac{1}{4}$ Zentner gehängt werden können, zieht an der Welle (*c*) und vermag der Spiegelachse eine Umdrehungsgeschwindigkeit bis zu 100 Rotationen in einer Sekunde zu erteilen.

Mit einer Uhr, welche auf Fünftelsekunden zu arretieren ist, läßt sich nach den Umdrehungen eines der Räder die Rotationsgeschwindigkeit recht genau bestimmen. An der Konstanz des Tones, die der Apparat gibt, kann man außerdem kontrollieren, ob die Rotationsgeschwindigkeit gleichmäßig bleibt.

Bei geringer Rotationsgeschwindigkeit sorgen 2 Windflügel

*) [Fig. 1 ist hier auf die Hälfte des Originals verkleinert.]

und ein horizontales Schwungrad (*d*) an der Spiegelachse für die Gleichmäßigkeit der Bewegung. Dadurch wird bei geringer Geschwindigkeit der Fehler, welcher aus der ungleichmäßigen Bewegung hervortreten könnte, ein verhältnismäßig kleinerer, als bei den größeren Geschwindigkeiten.

An der Spiegelachse befinden sich zwei schneidenförmige Arme (*e*) von Messing, welche mit ihren 2 mm breiten scharfen Enden bei einer bestimmten Stellung der Achse 2 an dem Rahmen isoliert befestigten Drähten [oder Schneiden] (*g*) gegenüberstehen. Die Länge jedes der Arme beträgt, von der Drehungsachse gerechnet, etwa 100 mm. Die beiden isolierten Drähte werden durch Funkenapparat und Widerstand mit den Belegungen der Leidener Flasche verbunden, so daß bei bestimmter Stellung der Achse eine Entladung der Flasche durch [**443**] die Arme ermöglicht ist. Das Schwungrad samt den Armen ist nur durch eine Fassung aus trockenem Holz von den Metallmassen des Rotationsapparates isoliert. In fast allen Fällen genügt indes diese Isolation.

Funkenapparat (*CD Taf. II, Fig. 1*). In gleicher Höhe mit der Rotationsachse ungefähr 500 mm von derselben entfernt steht auf einem massiven Postamente der Funkenapparat (*CD*), ein aus isolierender Substanz gebildetes Gehäuse, in welchem sich nebeneinander 2 Paare von Polkugeln (*pp'*) befinden. Beide Paare sind so mit der Leitung in Verbindung gebracht, daß bei Entladung der Flasche die Elektrizität die beiden eingeschalteten Luftstrecken nacheinander durchläuft und in dem Gehäuse 2 vertikale Funken nebeneinander, etwa 60 mm voneinander entfernt, auftreten. Durch eine kleine Öffnung im Gehäuse werfen die Funken ihr Licht in horizontaler Richtung auf die Rotationsachse.

Die doppelte Erzeugung eines Funkens dient erstens dazu, um, wenn die Entladung bei richtiger Stellung des Spiegels geschieht, durch Vergleichung beider Bilder entscheiden zu können, was in der Erscheinung von der allgemeinen Bewegung der Elektrizität am Leitungsdrahte und was von den zufälligen Umständen abhängig ist, die mit der Natur der Pole und der Explosion zusammenhängen; zweitens dazu, um die Beobachtung zu erleichtern*). Die Kugeln lassen sich zu beliebiger Schlagweite zwischen 1 und 10 mm einstellen.

---

*) Da nämlich der Funke nicht ganz genau bei einer bestimmten Stellung des Spiegels überschlägt, und das Bild bald mehr auf die

Die Kugeln, zwischen denen der Funken überspringt, waren für gewöhnlich aus Kupfer, doch habe ich auch dafür Platin, Zink, Eisen anzuwenden versucht, indes gefunden, [444] daß, wenn möglicherweise die verbrennenden Metallteilchen auch auf die Farbe und Lichtintensität des Funkens im allgemeinen einen Einfluß ausüben, die Erscheinungen, welche von der Art der Elektrizitätsbewegung herrühren, nicht im geringsten dadurch alteriert werden. Auf die Größe und Heftigkeit der Explosion ist der Stoff der Kugeln von einigem Einfluß, wie z. B. der Funke an Umfang zunimmt, wenn man die Polkugeln mit Kohle überzieht.

An den mit Ruß überzogenen Kugeln brachte die Entladung durch einen kurzen metallischen Schließungsbogen noch eine andere bemerkenswerte Erscheinung hervor. Nach einer solchen Entladung zeigte sich nicht nur ein einziger Punkt, von dem dieselbe ausgegangen schien, sondern mehrere Punkte nebeneinander, welche, von Ruß befreit, das Metall durchschimmern ließen. Später wird man noch klarer einsehen lernen, daß dies zweifelsohne von den einzelnen aufeinander folgenden Oszillationen, die nicht absolut genau dieselbe Bahn einschlugen, herrührte.

Will man, wie ja stets der Spiegelrotationsapparat es zum Zweck hat, eine Funkenverbreiterung beobachten, so ist es wünschenswert, die Funkenbahn, wie man sie bei ruhendem Spiegel sieht, auf einen möglichst engen Raum zu beschränken, vor allem darf die Elektrizität nicht auf mehreren Wegen zwischen je zwei Polen übergehen, weil man sonst in Gefahr käme, infolge der Spiegelrotation als zeitlich getrennt anzusehen, was im Funken selbst räumlich geschieden, aber gleichzeitig ist. Man darf nämlich niemals vergessen, daß alle Veränderungen, welche man in der Richtung der Rotationsbewegung wahrnimmt, als zeitliche Veränderungen aufzufassen sind. Unterschiede dagegen, die man in vertikaler Richtung, z. B. zwischen den beiden Polen, wahrnimmt, sind durchaus räumlicher Natur und sollen, wenn sie in derselben Vertikalen liegen, für einen und denselben Moment gelten. Jene Gefahr der zeitlichen Deutung einer räumlichen Größe habe ich einfach dadurch beseitigt, daß die Polkugeln bis auf einen kleinen, frei gelassenen

---

rechte, bald mehr auf die linke Seite des Gesichtsfeldes geworfen wird, so sichern zwei 60 mm voneinander entfernte Funken dem Beobachter weit eher ein scharfes Bild, als ein einziger Funken oft genügt die Beobachtung eines einzigen Bildes.

Punkt mit Schellack überzogen wurden. Der freie Punkt, an den der Übergang der Elektrizität gebunden war, hatte einen [445] Durchmesser von etwa $\frac{1}{4}$ Millimeter. Von Zeit zu Zeit muß die Oberfläche dieses isolierenden Schellacküberzuges wieder erneuert werden, weil sich nach einer Anzahl von Entladungen rings um den freien Punkt ein dünner Metallspiegel oder eine Oxydschicht abgelagert hat, wodurch die Beschränkung des elektrischen Stromes auf eine ganz bestimmte Bahn wieder aufgehoben werden kann.

Spiegel und Spiegelbild. Auf der Rotationsachse sind mit dem Rücken gegeneinander zwei Hohlspiegel (*s*) befestigt. Bei einem Teile der Beobachtung dienten als Hohlspiegel zwei Konkavgläser, welche ich aus einer Partie Pariser Brillengläser Nr. 19 als brauchbar herausgefunden*) und nach der Steinheilschen Methode versilbert hatte; sie waren kreisförmig und hatten einen Radius von 18 mm. Der Krümmungsradius ihrer Fläche betrug 527 mm. Bei einem andern Teile der Beobachtung dienten zwei in der Steinheilschen Fabrik geschliffene, viereckige Gläser, welche 100 mm hoch, 30 mm breit einen Krümmungsradius von 500 mm hatten. Sie waren ebenfalls nach jener Methode versilbert. Die Reflexion geschah, wie ich wohl kaum zu erwähnen brauche, an der vorderen Silberschicht.

Hatte das Spiegelpaar jene Stellung, bei welcher mittels der Arme an der Rotationsachse überhaupt nur eine Entladung zustande kommen konnte, so ward das Licht, welches aus dem Funkenapparate auf den einen der Spiegel fiel, von diesem gegen eine aufrechtgestellte matte Glasplatte (*P*) reflektiert, die sich dicht unter dem Funkenapparate befand. Hier kam in natürlicher Größe ein Bild des Funkens zustande, und zwar waren Funkenapparat und [446] Glasplatte so angeordnet, daß sowohl der Funke, als auch sein Bild sich möglichst nahe dem Kugelmittelpunkt des Spiegels befanden.

Stand der Spiegel so, daß sich das Funkenbild senkrecht

*) Unter 40 Flächen zeigten sich bei der Prüfung nur wenige sphärisch, und unter diesen nur zwei gleiche. Die Prüfung ist hinreichend leicht und scharf, wenn man seitlich nahe am Kugelmittelpunkte der sphärischen Fläche ein mit einer Nadel in Papier fein punktiertes Kreuz aufstellt und von hinten beleuchtet. Am geeigneten Orte fängt eine matte Glasplatte das Bild auf. Eine richtige Einstellung muß noch für die Lupe eine scharfe Zeichnung geben.

unter dem Funken erzeugte, so war jeder Funke um ungefähr 30 mm nach oben, das Bild auf der matten Glasplatte um ebensoviel nach unten vom Kugelmittelpunkte verschoben. Hieraus entsteht eine sphärische Abweichung, welche die Schärfe des Bildes beeinträchtigt, und nicht zu beseitigen ist. Denn die Platte läßt sich nicht so einstellen, daß die Abweichung (h) nach der Höhe und die Abweichung (b) nach der Breite zugleich verschwinden, doch man kann der Platte eine Stellung geben, daß $b = h$ wird. In dieser Stellung ist für den runden Spiegel

$$b = h = 0{,}04 \text{ mm}$$

für den Steinheilschen Spiegel

$$b = h = 0{,}06 \text{ mm},$$

Größen, die durchaus zu vernachlässigen sind.

Hatte der Spiegel jedoch nicht genau die vorher erwähnte Stellung, sondern trat die Entladung bei einer wenn auch nur wenig andern Stellung der Arme ein, so war eine dadurch bedingte Vergrößerung der sphärischen Abweichung zu berücksichtigen. Ein solcher Mangel an Präzision des Eintritts der Entladung war bei Rotation des Apparates etwas sehr Gewöhnliches. Allein, wenn die dadurch hervorgebrachte Verschiebung des Bildes nicht mehr betrug, als zirka 60 mm nach jeder Seite, so berechnet sich für die runden Spiegel

eine Maximalabweichung von zirka $\frac{1}{6}$ mm,

eine Größe, welche das mit dem Auge an dem aufblitzenden Funkenbilde Unterscheidbare noch lange nicht erreicht. Für die Steinheilschen Spiegel findet man

$$b = 0{,}05 \text{ mm} \qquad h = 0{,}24 \text{ mm},$$

bei diesen Beobachtungen für das Auge gleichfalls verschwindende Größen.

Aus demselben Umstande, daß das Auge bei der momentan wirkenden Lichterscheinung Veränderungen, die auf [447] einen allzu kleinen Raum (etwa von Millimeterbreite) beschränkt sind, nicht wahrnehmen kann, folgt auch, daß zur deutlichen Wahrnehmung stattfindender Veränderungen der Spiegel sich noch rascher drehen muß, als nur einfach erfordert wird, damit sich zwei verschiedene aufeinander folgende Bilder des Funkens — der ja immerhin eine gewisse Breite besitzt — nicht durch Übereinanderlagerung verwischen. Dann aber wird

das Bild auf der Glasplatte, gegen welche man das Auge in beliebiger Sehweite stellen kann, vollkommen geeignet, die zeitlichen Veränderungen, welche an Farbe und Lichtintensität in der Funkenlinie stattfinden, räumlich getrennt dem Auge vorzuführen.

Elektrische Batterie. Das elektrische Reservoir, welches entladen wurde, bestand aus 1—16 nahe gleichen Flaschen, die im Durchschnitt jede 2,2 □′ (oder genauer 0,2006 □ m) innere Belegung und eine Glasdicke von 4—5 mm hatten. Durch besondere Versuche möchte ich noch den genaueren Wert für die Kapazität der Flaschen ermitteln; ich muß dies jedoch einer spätern Zeit vorbehalten.

Leitungswiderstände. Der kleinste Widerstand, durch den die Batterie geschlossen werden konnte, wurde durch die nötigen Verbindungsdrähte gebildet, welche aus Messing oder Kupfer und fast überall über 2 mm dick waren. Die absolute Länge dieser Verbindungsstücke betrug gerade 5 m.

Es kam mir darauf an, den Widerstand des Schließungsbogens beträchtlich vermehren zu können, ohne seine Länge wesentlich zu vergrößern. Ich bildete zu diesem Zwecke Widerstände aus Fäden verdünnter Schwefelsäure von verschiedener Dicke, eingeschlossen in Glasröhren*). [**448**] Die verdünnte Schwefelsäure hatte das spez. Gewicht 1,25, wo nach Horsford und Becker ein Wendepunkt ihrer Leitungsfähigkeit liegt. Eine wenig größere oder eine wenig geringere Konzentration bringt nach genannten Beobachtern keine [wesentliche] Änderung im Widerstande hervor. Bei verdünnter Schwefelsäure von anderer Konzentration übt dagegen eine kleine Menge zuviel zugesetzten Wassers oder eine geringe Verdampfung schon einen großen Einfluß auf die Leitungsfähigkeit aus. Die Einheit — zur Abkürzung häufig durch »red. S Länge« bezeichnet — nach welcher die Widerstände berechnet sind, ist bei meinen Angaben eine 1 mm dicke Säule obiger verdünnter Schwefelsäure von 1 m Länge. Zur leichteren Orientierung habe ich noch in einzelnen Fällen die Angaben auf den Widerstand eines Silberdrahtes von 1 mm Dicke zurückgeführt, wobei nach den Angaben von Horsford (und

*) Man tut wohl, die Glasröhren von einer innern Weite zu wählen, welche nicht geringer ist als 1 Linie, weil andernfalls bei einer starken oszillatorischen Entladung die Flüssigkeit leicht herausgeschleudert oder gar die Röhre gesprengt wird.

Becker) in runder Zahl angenommen ist, daß 1 m eines 1 mm dicken Fadens verdünnter Schwefelsäure vom spez. Gewicht 1,25 denselben galvanischen Widerstand besitzt, wie 700000 m eines 1 mm dicken Silberdrahtes*). Gebe ich die Widerstände durch die Länge eines solchen Silberdrahtes an, so kann bei meinen Versuchen diese Länge stets nur eine *gedachte* sein, weil sich später ergeben wird, daß die Leiterlänge, als solche, einen wesentlichen Einfluß auf die Entladungserscheinung ausübt.

Um den Einfluß der Natur des Schließungsbogens und die Existenz einer etwaigen Polarisationswirkung in den Flüssigkeiten zu ermitteln, benutzte ich ferner drei je 50 m lange Stücke Neusilberdraht von respektive 0,260 mm, 0,247 mm und 0,260 mm Dicke. Eine Vergleichung mit einem dünnen Silberdraht ergab den spez. Widerstand dieses Neusilbers 13,2 mal so groß, als den des Silbers. Hiernach würden also jene 150 m einen galvanischen Widerstand bieten, dem 0,045 m eines 1 mm dicken Fadens verdünnter Schwefelsäure vom spez. Gewicht 1,25 gleichkäme, [449] vorausgesetzt, daß keine wesentliche Polarisationswirkung zu berücksichtigen sei, durch welche der Widerstand der Flüssigkeit ein scheinbar größerer werden könnte.

A. Beobachtungen bei kurzem Schließungsbogen.

Hat man die Batterie durch den Funken- und Rotationsapparat, außerdem aber nur durch die notwendigsten Verbindungsstücke geschlossen und stellt die Rotationsachse so, daß auf der matten Glasscheibe ein deutliches Bild vom Funken entsteht, so sieht man letzteren als eine 1—2 mm dicke Linie von schwachen, mehr oder weniger schmalen Lichtsäumen eingefaßt. Die immerhin nicht unbeträchtliche Breite der Funkenbahn nimmt mit wachsendem Widerstande ab und beschränkt sich bei Einschaltung einer passenden Flüssigkeitssäule auf eine feine Lichtlinie [Fig. 11 Taf. III].

Läßt man unter den verschiedensten Bedingungen den Rotationsapparat sich mit mäßiger Geschwindigkeit bewegen, so

*) Da nach Arndtsen das reine Kupfer einen vom Silber nur wenig abweichenden Widerstand bietet, habe ich in der früheren vorläufigen Veröffentlichung dieselbe Reduktionszahl für Kupferdraht gesetzt.

sieht man das Funkenbild nach seiner Breite zu einem Bande ausgezogen oder wenigstens nach der Seite der Bewegung gleichsam verwischt.

Bildet ein Leiter erster Klasse den Widerstand im kurzen Schließungsbogen, so zeigt bei passender Drehungsgeschwindigkeit — bei meinen Versuchen waren etwa 50 Rotationen des Spiegels in der Sekunde nötig — die leuchtende Funkenbahn im Bilde auf der matten Glasplatte nach der Seite der Bewegung nicht allein keine scharfe Grenze mehr, sondern die breite Funkenlinie, die man bei ruhiger Stellung des Spiegels auf der Platte abgebildet sieht, wird außerdem noch bedeutend nach einer Seite in die Breite gezogen, man sieht den Funken zu einem Lichtschweife verbreitet, gleich einem schmalen leuchtenden, sich keilförmig endenden Bande. Dieser farbige Lichtstreifen (Fig. 2 Taf. II), welcher aus dunklem Grunde aufblitzt, beginnt in einem blendenden Gelbweiß und in dem Maximum seiner Intensität. Weiter gegen das Ende wird die Nuance mehr bräunlich- oder grünlichweiß, doch ist die Lichtintensität [450] so groß, daß die Farbennuancen nur schwach hervortreten. Häufig endet hiermit die Lichterscheinung, meistens schließt sich indes eine lang ausgezogene Spitze in einem prachtvollen Kupferrot daran. Das Ende dieses mit dem Anfange verglichen, nur lichtschwachen Rotes, löst sich in Dunkelheit auf. Eine scharfe Bestimmung des Aufhörens ist daher nicht möglich. Man ist zugleich so sehr von der Stellung des Auges gegen die matte Glasplatte und von dem Grade der Aufmerksamkeit abhängig, daß man sich nicht wundern dürfte, wenn der rote, lichtschwache Teil des Bildes sich aus diesen Gründen der Wahrnehmung zuweilen ganz entzöge, selbst wenn er existierte.

Aufmerksame Beobachtung, und vor allem die Beachtung der beiden gleichzeitig nebeneinander sich abbildenden Funken zeigt indes, daß ein nicht seltenes Fehlen des roten Schweifes keineswegs in der mangelhaften Wahrnehmung begründet ist. Es läßt sich hinreichend oft beobachten, daß derselbe bei dem einen Funkenbilde fehlt, wenn er bei dem andern gleichzeitig sehr schön auftritt, oder umgekehrt. Der weiße, lichtstarke Teil ist dagegen bei beiden verbreiterten Funken von keiner merklichen Verschiedenheit der Länge, selbst dann nicht, wenn beide Funken eine sehr verschiedene Schlagweite haben. Im letzteren Falle zeigt das dunklere, kupferrote Ende dagegen eine wesentliche Verschiedenheit; bei den kleineren Funken

ist der rote Teil stets weniger entwickelt. Die beiden Kugelpaare, zwischen denen sich die beiden Funken bilden, sind nur durch ganz dicke Drähte getrennt, so daß daran nicht zu denken wäre, daß sich die Elektrizitätsbewegung an *einem* Funken noch fortsetzen könnte, wenn sie am *andern* schon geendet hätte. Aus den Beobachtungen kann man daher den Schluß ziehen, daß nur der lichtstarke weißliche Teil des Funkenbandes unmittelbar durch die Elektrizitätsbewegung erzeugt sein kann, daß dagegen der höchst veränderliche kupferrote Schweif allein von den Folgen der Explosion und Temperaturerhöhung herrühren muß.

[**451**] Ich möchte annehmen, daß die Luftteilchen und die übergerissenen, fein zerteilten Metallpartikelchen, welche während der Elektrizitätsbewegung zu einer sehr hohen Temperatur erhitzt sind, erst allmählich ihre Anfangstemperatur wieder erlangen. Je mehr sie abgekühlt sind, desto langsamer erfolgt die weitere Abkühlung, und daraus suche ich zu erklären, daß die Teilchen verhältnismäßig solange in der Rotglühhitze verharren. Daß diese Abkühlung bei zwei Funken derselben Entladung auf verschiedene Weise stattfinden kann, wird nicht wundernehmen, wenn man bedenkt, daß durch die Unregelmäßigkeit der Explosion bald mehrere, bald wenigere, bald größere, bald kleinere Partikelchen übergeführt werden, daß die Luft eine bald größere, bald geringere Ausdehnung erleidet. Diese Erklärung macht es zugleich begreiflich, warum ich dasselbe rote Schweifende wahrnahm, wenn ich statt der Kugel aus Kupfer deren aus Zink, Eisen oder Platin anwendete, da alle Metalle auf gleiche Weise zuletzt durch die Rotglut hindurchgehen müssen. Auch die Beobachtungen, daß bei Einschaltung einer großen Leiterlänge oder eines großen Widerstandes die Entwicklung des roten Schweifes beeinträchtigt oder ganz unterdrückt wird, scheinen hiermit im Einklange zu stehen, denn auf beide Weisen wird die mittlere Stromintensität der Entladung und damit natürlich auch die Heftigkeit der Explosion geschwächt. Es können daher nicht mehr so große Metallpartikelchen abgerissen werden und ins Glühen geraten.

Man könnte allenfalls noch die Frage aufwerfen, warum nicht jeder gewöhnliche Funke bei direkter Betrachtung [ohne Spiegel] von einem solchen Lichte eingesäumt erscheint; die Luft- und Metallteilchen werden mit einer großen Geschwindigkeit zur Seite geschleudert; sie büßen ihre Lichtkraft erst

ein, wenn sie schon aus der elektrischen Bahn herausgetreten sind. Daß ein direkt gesehener Funke dennoch keine kupferrot gefärbten Säume zeigt, wird wahrscheinlich nur in der Unfähigkeit unseres Auges liegen, neben der höchst intensiv leuchtenden Funkenlinie eine so schwache Farben[452]nuance noch wahrzunehmen. Es wäre einfach die nachteilige Folge einer Irradiation.

Soviel glaube ich wenigstens jetzt schon als sicher hinstellen zu können: Der dunklere rote Schweif, welcher bei Entladung durch einen längeren Schließungsbogen und größere Widerstände bei Anwendung kleinerer Elektrizitätsmengen regelmäßig zu fehlen scheint, ist für die Bewegung der Elektrizität etwas durchaus Akzidentelles. In dem helleren Teile darf man dagegen erwarten, ein Bild der elektrischen Vorgänge während der Entladung zu finden. Dieser Teil ist, wie oben bemerkt, blendend weiß mit schwachen Farbennuancen. Wegen des Übergewichts von weißem Lichte läßt sich die Farbennuance schwierig bestimmen. Dazu kommt, daß wie bei dem roten Teile auch hier die Farbe etwas ist, was mit der elektrischen Bewegung in keinem unmittelbaren Zusammenhange zu stehen scheint. Das Bestimmende für die Färbung möchte wohl allein der Zustand der erhitzten Luft und Metallpartikelchen sein, denn sie ist wesentlich durch das Material der Polkugeln bestimmt; doch da das reine Weiß namentlich am Anfange der Entladung so außerordentlich überwiegt, nicht in dem Grade, als man vielleicht erwarten könnte. Wo die Lichtintensität geschwächt ist, wie bei Einschaltung eines sehr langen Leiters und größerer Widerstände, tritt die Farbenverschiedenheit stärker hervor. Ich habe in dieser Hinsicht Beobachtungen mit Kugeln von Kupfer, Platin, Zink und Eisen gemacht; beim Zink war z. B. eine mehr grünliche Färbung vorherrschend, während im Gegensatze dazu der lichtstarke Teil bei Kupfer und Platin einen Stich ins Gelbviolette zu haben schien. Der Gegenstand lag mir jedoch nicht so nahe, um ihn eingehender zu studieren, bevor diejenigen Einzelheiten der Erscheinung ans Licht gezogen waren, welche mit größerer Konstanz auftreten.

*Dauer der Totalentladung**). Wenn der helle Teil des Bildes in seiner Länge wirklich der Dauer der Elektrizitätsbewegung entspricht oder [453] auch nur ihr proportional ist.

*) [Bei kurzem gutleitenden Schließungsbogen.]

so könnte man doch noch zweifelhaft sein, ob derselbe auch diejenige Dauer anzeigt, welche bei gewöhnlicher Flaschenentladung ohne Rotationsapparat stattfinden würde. Man könnte glauben, der schnelle Vorübergang der an der Rotationsachse befestigten Schließungsarme bei den Verbindungsdrähten (g) müsse von wesentlichem Einflusse sein auf die Dauer, doch schon im voraus kann man dies als unwahrscheinlich bezeichnen. Da man die Rotationsgeschwindigkeit so reguliert, daß die lichtstarken Teile der[13]) Funkenschweife nicht länger erscheinen, als gegen 3 cm, so ist die Ortsveränderung eines Punktes an der Übergangsstelle bei beiden Schließungsarmen sehr gering, zirka 3 mm im Maximum, und da die Schließungsarme schneidenförmig in zirka 2 mm breite Enden auslaufen, so bleibt die Größe des Luftzwischenraumes während der Entladung fast ungeändert. Mitunter kann es jedoch vorkommen, daß die Entladung eintritt, bevor die diametrale Stellung erreicht oder auch, nachdem sie schon überschritten ist. Allein da selbst in diesen Fällen die Erscheinung des Funkens auf der matten Glasplatte in keiner Weise eine andere scheint, als in allen übrigen Fällen, so bestätigt das Experiment im weitesten Sinne, daß die Dauer nicht wesentlich von der Bewegung des Rotationsapparates beeinflußt sein kann.

Wenn also hier auch keine Fehlerquelle liegt, so sind die Fehler, welche aus der Schwierigkeit der Beobachtung, aus der Unsicherheit der Entscheidung, wo man die Grenze des hellen Teiles zu setzen hat, entspringen, doch so groß, daß die Angaben über die Dauer, selbst wenn sie schon das Mittel sind aus einer Anzahl von Beobachtungen, stets mit einer gewissen Unsicherheit behaftet bleiben werden. Annahmen indes, wie man sie irrtümlich aus den Wheatstoneschen Versuchen hergeleitet hat, und womit man Gefahr läuft, um das Hundertfache fehlzugreifen, dürften nach meinen Messungen wohl nicht mehr statthaft sein. Man wird bei optischen und physiologischen Versuchen nicht mehr annehmen können, daß die Entladung einer [454] Leidener Flasche durch einen kurzen metallischen Schließungsbogen eine momentane sei, zugleich wird man aber durch die Bestimmung des Grenzwiderstandes in die Lage gesetzt, die Entladung auf ihre kleinstmögliche Dauer beschränken zu können.

Die Bestimmungen der Schweiflänge wurden entweder mit Abschätzung durch nachherige Vergleichung mit einem Maßstabe oder in der Weise gemacht, daß an die matte Glas-

platte Papierstreifen von bekannter Breite befestigt wurden. Mit dieser Breite konnten die Dimensionen des dicht über den Streifen sich abbildenden Lichtschweifes verglichen werden. Das Mittel aus einer Anzahl von Beobachtungen liefert dann einen angenäherten Wert für die zu messende Zeit.

Ein Beispiel möge es erläutern. Bei Anwendung einer Flasche von 2,2 □′ innerer Belegung, bei $4\frac{1}{2}$ mm Schlagweite und einer Geschwindigkeit von 52 Rotationen*) des Spiegels in einer Sekunde erhielt ich für die Länge des lichtstarken Teiles im Funkenschweif folgende Zahlen in Millimetern angegeben:

30 25 25 35 25 $22\frac{1}{2}$ $27\frac{1}{2}$ 25 30 $27\frac{1}{2}$ 30

hierzu ist das Mittel

$$27\frac{1}{2} \text{ mm},$$

woraus sich eine Dauer von 0,00009 Sekunden für die Dauer der intensiven Lichtentwicklung berechnet.

In dieser Weise ist die angegebene Dauer stets das Resultat aus einer Reihe von Beobachtungen.

Als sich dieselbe Flasche bei derselben Schlagweite und bei 90 Spiegelrotationen entlud, war die Dauer der verschiedenen Farben im Funkenbande (durch je 10 einzelne Beobachtungen bestimmt) folgende:

Dauer des gelblichen Weiß	0,00008″	Dauer des weißen Lichtes 0,00007″.
Dauer des grünlichen Weiß	0,00004″	
Dauer des rötlichen Endes	0,00006″	
	0,00013″	

[455] Die Farbe, sowie die relative Dauer derselben im Funkenbilde stellt sich, wie schon oben erwähnt, keineswegs immer in gleicher Weise, jedoch ist obiges Beispiel für Entladungen durch einen kurzen, gut leitenden Schließungsdraht bezeichnend.

Vergrößerung von Schlagweite und elektrischer Oberfläche verlängern jede die Dauer der Entladung. Folgende Zahlen mögen zum Beweise dienen:

---

*) Die angegebene Zahl der Rotationen bezieht sich immer auf eine Sekunde, sowie auch die Angabe der Zeiten stets auf diese Einheit bezogen ist.

Zahl der Flaschen	Rotationen in 1"	Zahl der Beobachtungen	Schlagweite in Millimetern	Dauer des weißlichen Lichtes in Sekunden
1	55	11	$1\frac{1}{2}$	0,00004
	55	19	$3\frac{1}{4}$	0,00007
	21	24	$3\frac{3}{4}$	0,00008
	$12\frac{1}{2}$	19	$6\frac{3}{4}$	0,00010
	$12\frac{1}{2}$	21	10	0,00018
	21	12	10	0,00013
	$36\frac{1}{2}$	7	10	0,00013
4	55	8	$1\frac{1}{2}$	0,00006
	21	13	$3\frac{3}{4}$	0,00013
	$12\frac{1}{2}$	14	$3\frac{3}{4}$	0,00015

Vergrößerung des Widerstandes kann die Dauer der Entladung auf ein Minimum beschränken.

Ohne die Länge*) des Schließungsbogens wesentlich zu vergrößern, schaltete ich Widerstände von verdünnter Schwefelsäure ein. Dabei nahm die Dauer der elektrischen Bewegung mehr und mehr ab. Die Figuren 3 und folgende auf Taf. II, welche eine Anschauung von den auf der Platte wahrgenommenen Erscheinungen geben sollen, sind in der Weise umgekehrt gezeichnet, daß der Schatten auf der Zeichnung dem Lichte in der Erscheinung entspricht. Von Fig. 3 bis Fig. 9 Taf. II nimmt man mit beständig zunehmendem Widerstande eine beständige Abnahme der Funkendauer wahr. Bei Entladung zweier Flaschen und einem $\ddot{S}$ = Widerstande von 0,006 m red. Länge [millimeterdicke Fäden verdünnter Schwefelsäure vom spez. Gew. 1,25] traten nur Erscheinungen auf, wie sie Fig. 8 und 9 zeigen. Bei 0,009 m red. $\ddot{S}$ = Länge blieb [**456**] die Erscheinung dieselbe, nur waren in den Fällen, wo außer der scharfen 1 bis 2 mm breiten Funkenlinie noch Säume als Verlängerung des Lichtes an den Polen beobachtet wurden, dieselben dünner und fadenförmiger als in Fig. 7 oder 8. Der Funke sah fast so aus wie bei ruhendem Spiegel, nur eine wenig ausgerissene Begrenzung nach der Seite der Bewegung zeigte in den Fällen, wo auch von den Säumen nichts zu sehen war, den Sinn der Spiegeldrehung an. Bei

*) Die Länge betrug 6—7 m.

0,012 m red. $\ddot{S}$ = Länge trat nun schon in den meisten Fällen wieder eine Verbreiterung ein und wuchs mit wachsendem Widerstande (Fig. 10 bis 14 Taf. II). Dieselbe war jedoch in ihrem Habitus, wie es auch schon die Figuren 10 bis 14 deutlich zu erkennen geben, ganz verschieden von der Verbreiterung bei geringem Widerstande, insofern meist zwei parallele Säume dem oberen und unteren Ende des Funkens entsprechend auftraten und *parallel blieben* bis zum gänzlichen Verschwinden. Der von beiden Säumen eingeschlossene Raum ist entweder dunkel (meistens bei kleineren Elektrizitätsmengen und größerer Schlagweite) oder mit einem blauweißen, rötlichvioletten Lichte angefüllt, welches fast stets schon vor dem Ende der eben erwähnten Säume verlöscht, am Ende aber fahnenartig zerschlitzt ist (meist bei kleinerer Schlagweite und nicht allzugroßem Widerstande, Fig. 12). Die Länge der beiden Säume ist meistens verschieden. Wir haben jetzt ganz und gar die *kontinuierliche* Entladung vor uns, wie ich sie [s. oben S. 12, 19 u. ff.] beschrieben habe. Es gelten dieselben Gesetze: Mit Vergrößerung des Widerstandes nimmt sie an Ausdehnung zu, und bei Einschaltung einer großen Länge destillierten Wassers macht sie streckenweise der *intermittierenden**) Entladung Platz.

[457] Bei Entladung zweier Flaschen durch einen Widerstand von 0,009 m red. $\ddot{S}$ = Länge haben wir offenbar einen Wendepunkt für die Entladungsweise. Den zugehörigen Widerstand habe ich »*Grenzwiderstand*« [s. oben S. 32] genannt.

Die Dauer der Entladung hat hier ein Minimum erreicht. Die bis zu diesem Punkte stattfindende Entladung habe ich die »*oszillatorische*« genannt und die Hauptgesetze der Oszillationen angegeben [s. oben S. 28 u. ff.]. Sieht man auch bei den

---

*) Die intermittierende Entladung zeigte sich in der Art, wie ich sie [S. 13] beschrieben habe, jedoch in noch seltenerer Regelmäßigkeit, weil hier die Veränderung an der Unterbrechungsstelle des jetzigen Rotationsapparates von bedeutendem Einfluß ist auf die Strömung der geringen Elektrizitätsmenge, welche bei jedem Intermittenzfunken übergeht. Bei meinen früheren Versuchen war durch amalgamierte auf einer amalgamierten Unterlage schleifende Federn während der Entladungserscheinung im Spiegel eine ununterbrochene Verbindung an den beiden veränderlichen Punkten hergestellt. Die Annahme, die ich a. a. O. gemacht: daß die kontinuierliche Entladung erst mit stark zunehmendem Widerstande mehr und mehr in die intermittierende übergeht, fand sich hier also wieder vollkommen bestätigt.

oben angeführten Versuchen mit bloßem Auge keine Andeutung der Oszillationsstreifen, so werde ich doch ihre Existenz später durch die schlagendsten Versuche auch hierfür nachweisen und obige Benennung dadurch rechtfertigen.

Der Übergang der *oszillatorischen* in die *kontinuierliche* Entladung ist keineswegs so scharf und bestimmt ausgedrückt, wie man für dieses wichtige Element wünschen könnte. Da hier der Widerstand das Maßgebende ist, so könnten die vielen lockeren Verbindungsstellen, welche sich bei der Leidener Flasche gar nicht vermeiden lassen, und wo jede neue Entladung eine Veränderung hervorbringt, Ursache der Inkonstanz sein. Ich habe daher bei späterer Einrichtung der Versuche die Verbindungsstellen gelötet, wo es nur irgend tunlich war.

Die Unsicherheit der bisher beschriebenen Art zu beobachten, hielt mich ab, eine vierte Dezimale anzugeben, da schon die Einheit der dritten Stelle nicht sicher ist. Diese Unsicherheit, die bei Anwendung größerer Elektrizitätsmengen, wo die Totalentladungen bei gleichmäßigem Drehen der Elektrisiermaschine langsamer aufeinander folgen, noch wächst, ist der Grund, weshalb ich hier [bei *direkter* Beobachtung des Funkenbildes] nicht habe unter[458]suchen können, inwiefern der *Grenzwiderstand* bei Veränderung von Schlagweite und elektrischer Oberfläche ein anderer wird oder nicht.

B. Beobachtungen bei langem Schließungsbogen.

Hier stellt sich die Sache günstiger. Durch die Einschaltung eines langen gut leitenden Drahtes*) wird nämlich die Dauer der Entladung in beträchtlicher Weise vergrößert. Während durch Einschaltung eines Schwefelsäure-Widerstandes von 0,001 m red. $\ddot{S}$ = Länge in den kurzen Schließungsbogen die Dauer schon merklich verkürzt wird, ist die Entladungsdauer bei Einschaltung eines über 1300 m langen für möglichst geringe Induktionen aufgespannten Kupferdrahtes von demselben galvanischen Widerstande um etwa das Drei- bis Vierfache verlängert. Dabei zeigt sich eine ganze eigentümliche Erscheinung: Wenn man eine hinreichend große Rotationsgeschwindigkeit anwendet, so löst sich der helle Teil des

*) Die lange Leitung kann zu diesem Zwecke auch durch einen kürzeren spiralförmig gewickelten Draht ersetzt werden, vorausgesetzt, daß die Windungen vollständig voneinander isoliert sind.

Funkenschweifes, wie man ihn auf der matten Glasplatte wahrnahm, in lauter Streifen auf, die parallel sind mit der einfachen Funkenrichtung und durch dunkle Zwischenräume voneinander getrennt werden. Fig. 15, Taf. II stellt *in den Grundzügen* ein umgekehrtes (d. h. negatives) Bild der Erscheinung dar; im einzelnen zeigen die Funkenbilder freilich manche Abweichungen von dieser schematischen Zeichnung.

Wie wichtig diese Wahrnehmung für die gesamte Elektrizitätslehre immerhin sein mag, so will ich doch zuerst nur einen untergeordneten Gebrauch davon machen. Die Beobachtung ist nämlich geeignet, einem Einwurfe zu begegnen, den man gegen die Deutung der *Erscheinung bei kurzem Schließungsbogen* vorbringen könnte. Dort nahm ich an, daß die Dauer des intensiv weißen Lichtes einen Schluß auf die Dauer der Elektrizitätsbewegung erlaubte. Ich mußte auf den Einwurf gefaßt sein, daß ich zu der [459] Annahme nicht berechtigt sei, weil die ganze Erscheinung ebenso gut nach einer momentanen Ausgleichung der Elektrizitäten, wobei die Luft und Metallpartikelchen auf eine außerordentlich hohe Temperatur gebracht würden, durch einen einfachen Abkühlungsprozeß der erhitzten Teile bedingt werden könne, daß man also in dem Funkenschweife nichts weiter zu haben brauche, als ein Abklingen (*sit venia verbo*) des glühenden Funkenkanals. Die Beobachtung der Streifen beseitigt einen solchen Einwurf, sie zeigt, daß die erhitzten Teilchen unter Umständen sehr rasch abkühlen. Daß dazu freilich immerhin eine kleine Zeit erforderlich ist, kann ich nicht leugnen, es beweist dies schon der Umstand, daß sich an den letzten der Streifen häufig noch ein längerer lichtschwacher Schweif anschließt; es beweist dies ferner die Beobachtung, daß die dunkeln Zwischenräume oft noch mit Licht, wenn auch schwächerer Intensität angefüllt sind. Allein von der bedeutenden Höhe der Temperatur, wie sie während des Strömens der Elektrizität stattfindet, sinken die Teilchen im allgemeinen sehr rasch herunter.

Gegen Ende der Entladung werden die Streifen an Intensität schwächer, behalten aber unverändert ihre Breite bis auf den letzten Streifen, an den sich bei nicht allzugeringer Elektrizitätsmenge ein meistens matt leuchtender, zugespitzter Lichtschweif anschließt. Die Farbe dieses lichtschwachen Endes pflegt aus einem oft gelblichen, oft bläulichen Grün in das Kupferrote überzugehen, in ähnlicher Weise, wie Fig. 2 Taf. II

es veranschaulichen soll. In dem kupferroten Teile läßt sich nun niemals eine Spur von Querstreifen beobachten.

Das menschliche Auge ist für Intensitätsbestimmungen nur wenig geeignet; ich würde daher auf die weitere Verteilung des Lichtes in den einzelnen Querstreifen, wie sie das Auge zu sehen glaubt, wenig Wert legen, wenn nicht die weit schärfere Methode des Photographierens die mit dem Auge gemachten Beobachtungen in den Hauptpunkten ergänzte. Sind die Streifen breit, so scheint nach der Breitenausdehnung [460] in jedem derselben dem Beobachter häufig ein Anschwellen der Lichtintensität bis zur Mitte hin und ein Abschwellen über die Mitte hinaus stattzufinden. Oftmals jedoch vermag das Auge dergleichen Nuancen bei dem einmaligen Aufblitzen der Erscheinung nicht zu unterscheiden, und dann glaubt man wohl, die ganze Entladungserscheinung als ein helles Band gesehen zu haben, welches einfach mit schmalen, gleichweit voneinander abstehenden dunklen Linien durchsetzt ist. Nur bei größeren Schlagweiten bemerkt das Auge eine größere Lichtintensität der Streifen an ihren den Polen entsprechenden Enden. Dies Überwiegen der Polenden kann so groß werden, daß die Mitte des Funkenbandes fast lichtlos erscheint.

Charakteristisch ist vor allen Dingen der auf photographischem Wege noch weiter festgestellte Umstand, daß die Breite der einzelnen Streifen in allen Teilen des Funkenbildes dieselbe ist und unter sonst gleichen Umständen sich unabhängig von der Höhe der Ladung zeigt.

Daß *davon* keine Rede sein kann, an dem Bilde, welches mit seiner Entstehung auf der Netzhaut auch schon wieder geschwunden ist, die Zahl einer Menge von Streifen bestimmt anzugeben, versteht sich wohl von selbst. Nur wenn sich dieselbe um ein Bedeutendes verringert oder vermehrt, kann man dies erkennen, und zwar findet man dann:

Mit wachsendem Widerstande in einem [langen] Schließungsbogen, dessen Länge ungeändert bleibt, nimmt die Zahl der Streifen ab, jedoch ohne daß letztere sich in ihrer Breite irgendwie änderten. Schaltete ich in die Leitung Widerstände von verdünnter Schwefelsäure ein, so kam ich bald an einen Punkt, wo nur 3 Streifen übrig geblieben waren, die sich dann vortrefflich übersehen ließen. Ein größerer Widerstand reduzierte die Zahl auf 2; eine weitere Einschaltung von verdünnter Schwefelsäure nahm dem zweiten Streifen von seiner

Lichtintensität, bis er schließlich ganz aufhörte, sich zu zeigen. Es war nunmehr der erste Streifen an beiden Enden ziemlich scharf begrenzt übrig geblieben. [461] Hier war die Dauer der sichtbaren Entladung ein Minimum geworden. Mit weiterer Vergrößerung des Widerstandes dehnte sich die Breite des Streifens rasch weiter aus. Das Licht nahm besonders gegen das Ende an Intensität ab, und von einer scharfen Grenze war keine Rede mehr. Es trat die Erscheinung ein, wie ich sie schon früher wiederholt beobachtet: die *kontinuierliche* Entladung, wie Fig. 10—14 Taf. II sie veranschaulicht. Der Punkt, wo nur ein Streifen übrig geblieben ist, und dieser an Breite noch nicht wesentlich zugenommen hat, ist derselbe Wendepunkt, den ich schon bei kurzem Leitungsdraht als einen Wendepunkt für die Dauer der Totalentladung gefunden habe. Den zugehörigen Widerstand — der hier freilich bei derselben Flaschenzahl wegen des veränderten Schließungsbogens von dem früheren verschieden ist — nannte ich den *Grenzwiderstand**) für die oszillatorische Entladung. Derselbe läßt sich hier weit schärfer bestimmen als früher, weil das Aufhören des zweiten Streifens einen besseren Anhalt der Bestimmung bietet, als die abzuschätzende Länge allein. Ich darf hier nicht verschweigen, daß doch noch kleine Schwankungen unter denselben Bedingungen des Experimentes zu beobachten waren. Dieselben waren aber nicht so groß, um eine ziemlich sichere Bestimmung des *Grenzwiderstandes* zu verhindern. Aus der Einsicht folgender Beobachtungszahlen, die sich auf verschiedene Flaschen beziehen, wird man übrigens auch die nicht ganz beseitigte Unsicherheit ihrer Größe nach beurteilen können.

I Flasche

Gesamtwiderstand d. Leitung	
0,007	zirka 6 Streifen je 3 mm bis 4 mm breit
0,009	zirka 5 Streifen
0,012	4 Streifen
0,019	3 Streifen
462] 0,026	2 Streifen, zuweilen 3 Streifen
0,035	2 Streifen (wenigstens)
0,045	2 Streifen

*) In Metern eines 1 mm dicken Fadens verdünnter Schwefelsäure angegeben

Gesamtwiderstand d. Leitung	
0,049	1 Streifen von gegen 4 mm Breite meist Andeutung des zweiten
0,058	1 Streifen, 3—4 mm breit, mit einem scharf begrenzten Ende
0,063	1 Streifen, mit meist scharf begrenztem Ende
0,068	1 Streifen, das Ende wesentlich lichtschwächer, Breite scheint größer
0,072	1 Streifen, schon 4—5 mm breit
0,077	1 Streifen, 5—6 mm breit
0,091	1 Streifen, 5—7 mm breit mit matt verlaufendem Ende
0,105	Die kontinuierliche Entladung ist zu 6—10 mm ausgedehnt
1 (ungefähr)	Die kontinuierliche Entladung ist zu 30 bis 50 mm ausgedehnt.

II Flaschen

0,014	3 Streifen
0,025	2 Streifen, der letzte schon bedeutend lichtschwächer
0,036	1 Streifen, zuweilen eine Andeutung des zweiten
0,041	1 Streifen, stets allein, zirka 3 mm breit. Dauer 0,00002″*)
0,048	1 Streifen, scheint schon etwas breiter, als vorher
0,071	1 Streifen, 5—6 mm breit.

VI Flaschen

0,014	2 Streifen
0,018	2 Streifen, noch vollständig
[463] 0,021	2 Streifen, der zweite bedeutend lichtschwächer
0,025	1 Streifen, gegen 5 mm breit. Dauer 0,00003″
0,031	1 Streifen, scheint schon breiter
0,036	1 Streifen, schon um das $1\frac{1}{2}$- bis 2 fache breiter

*) Die Rotationsgeschwindigkeit des Spiegels bei dieser und den folgenden Flaschenkombinationen war eine und dieselbe.

Gesamtwiderstand. d. Leitung	
0,048	1 Streifen, zirka 10 mm breit
0,071	1 Streifen, zirka 13 mm breit.
	VIII Flaschen
0,011	2 Streifen
0,014	2 Streifen, der zweite lichtschwächer, als vorher
0,016	1 Streifen, der zweite kaum angedeutet
0,018	1 Streifen, nicht breiter geworden. Dauer 0,00004″
0,021	1 Streifen, eine entschiedene Verbreiterung noch nicht bemerkt
0,025	1 Streifen, mit geringer Verbreiterung.
	XVI Flaschen
0,004	2 Streifen (zuweilen 3), der erste scheint oft $1\frac{1}{2}$ mal so breit als jeder der andern, der letzte läuft oft in einen Schweif aus
0,007	2 Streifen
0,011	2 Streifen
0,014	1 Streifen. Dauer 0,00006″
0,018	1 Streifen, scheint schon breiter, als zuvor
0,021	1 Streifen, entschieden breiter
0,025	1 Streifen, etwa $1\frac{1}{2}$—2 mal so breit, als bei 0,014 m Widerstand.

Ich denke, man wird aus vorstehenden Beobachtungen deutlich erkennen, daß der Wendepunkt für die Dauer der Entladung zugleich derjenige Punkt ist, wo die Teilung des verbreiterten Funkenbildes in Partialstreifen aufhört. Die Beweise, daß jene Streifen mit Recht den Namen von Oszillationsstreifen führen können, daß jeder einzelne Oszillationsstreifen durch einen entgegengesetzten [464] Strom gebildet wird, wie der vorhergehende und nachfolgende, und daß daher die erste Art der Entladung mit Recht auf den Namen der *oszillatorischen* Entladung Anspruch machen kann*), behalte ich späteren Mit-

*) In den kürzlich veröffentlichten Untersuchungen des Dr. Paalzow findet derselbe durch die Geißlerschen Röhren eine Flaschenentladung, in welcher entgegengesetzte Ströme auftreten.

teilungen vor. Dort werde ich auch nach vortrefflich gelungenen Photographien zahlreiche Abbildungen von der oszillatorischen Entladung geben, wie ich sie durch den Spiegelapparat erhalten habe. Nehmen wir aus vorstehenden Beobachtungen den *Grenzwiderstand* für verschiedene Flaschenzahl, so erhalten wir die Tabelle, welche schon Pogg. Ann., Bd. 112, S. 453 [s. oben S. 32] zu finden ist, die ich aber hier des Zusammenhanges wegen wieder folgen lassen muß.

Flaschenzahl	Grenzwiderstand beob.	ber.	Diff.
1	0,058	0,056	+ 0,002
2	0,041	0,040	+ 0,001
4	0,025	0,028	— 0,003
8	0,018	0,020	— 0,002
16	0,014	0,014	0

Aus diesen Zahlen sieht man nicht allein, daß der *Grenzwiderstand* mit zunehmender elektrischer Oberfläche abnimmt, sondern man erkennt auch ein Gesetz dieser Abnahme; denn berechnet man die Werte nach der Formel

[465] $$w = a\frac{1}{\sqrt{s}},$$

wo w der Grenzwiderstand, a eine Konstante und s die elektrische Oberfläche — die Kapazität der angewendeten Flaschen — bezeichnet, so erhält man Differenzen, welche durchaus innerhalb der Grenzen der Beobachtungsfehler liegen.

Er nennt diese Entladung die »*alternierende*«. Nach wenigen vergleichenden Versuchen mit dem Rotationsapparat scheint sie nicht ganz dasselbe zu bezeichnen, wie die *oszillatorische* Entladung, denn die eingeschaltete Röhre deutete in keinerlei Weise jenen Wendepunkt der Entladung an. Wenn nun die Geißlerschen Röhren in der Tat nicht geeignet sein sollten, den Grenzwiderstand zu bestimmen, so dürfte man auch das später von mir angeführte Resultat, daß keine wesentliche Veränderung des Grenzwiderstandes mit der Schlagweite stattfindet, nicht mit den Resultaten des Dr. Paalzow vergleichen. Aus obigen Gründen würde ferner meine »*kontinuierliche*« Entladung nicht überall dasselbe sein können, wie die »normale« Art der Entladung des Dr. Paalzow, auch abgesehen davon, daß in letzterer wahrscheinlich außerdem noch die von mir schon früher nachgewiesene »*intermittierende*« Entladung mit inbegriffen sein würde.

Erinnert man sich an das Minimum der Entladungsdauer, wie ich es bei kurzem Schließungsbogen (von 6—7 m Länge) an zwei Flaschen gefunden habe*), und bedenkt man, daß bei den zuletzt angeführten Versuchen ein Leiter von gegen 1400 m Länge eingeschaltet war, so ersieht man zugleich, daß der *Grenzwiderstand* mit zunehmender Länge eines mit möglichster Vermeidung der Induktion aufgespannten Leiters ebenfalls langsam zunimmt.

Den Einfluß der Schlagweite auf die Größe des *Grenzwiderstandes* suchte ich auf dieselbe Weise zu ermitteln und fand, indem ich die Schlagweite von $1\frac{1}{2}$—6 mm, später bis 8 mm variierte, keine merkliche Veränderung in der Grenze für die oszillatorische Entladung. Mit derjenigen Sicherheit, welche diesen Beobachtungen entspricht, habe ich daraus geschlossen: *daß die Grenze der oszillatorischen Entladung überhaupt unabhängig ist von der Höhe der Ladung.*

Die Abhängigkeit jener Grenze von der Größe der elektrischen Oberfläche**), sowie von der Länge (oder richtiger gesagt, von den sämtlichen Induktionswirkungen) des Leiters betrachte ich hiermit als erwiesen, ebenso nehme ich die Unabhängigkeit von der Schlagweite an; allein die Unabhängigkeit von der Natur des Leiters, welche ich bisher [466] stillschweigend vorausgesetzt habe, muß ich noch weiter erörtern. Ich habe die Länge und Aufspannung des Leiters bei konstanter Flaschenzahl als das allein Maßgebende bezeichnet. Ist diese Behauptung richtig, so muß die Grenze der *oszillatorischen* Entladung dieselbe bleiben, wenn ich andere Widerstände wähle oder die Widerstände im Leiter anders verteile, ohne den Gesamtwiderstand des Schließungsbogens zu verändern. Zu dem Zwecke ließ ich die Fäden verdünnter Schwefelsäure, welche nach ihrer Länge einen verschwindenden Teil des Leiters ausmachen, ganz fort, ersetzte dafür aber Teile des auf dem Universitätsboden zu Leipzig aufgespannten Kupferdrahtes durch dünnen Neusilbrderaht. Auf diese Weise konnte

*) Das Minimum trat bei einem Schwefelsäurewiderstande von etwa 0,009 m red. $\ddot{S}$ = Länge ein, welcher letztere also in jenem Falle allein den *Grenzwiderstand* bildete, und dem eine Entladungsdauer von 0,000001″ entsprach.

**) Daß der Grenzwiderstand auch von der Dicke und Beschaffenheit der isolierenden Schicht abhängig sein wird, leidet wohl keinen Zweifel, wenn ich auch darüber keine speziellen Versuche angestellt habe.

ich den jetzt ganz metallischen Schließungsbogen von beliebigem Widerstande herstellen, ohne an seiner Länge und Art der Aufspannung etwas zu ändern. Die Anführung folgender Beobachtungen, wobei der Widerstand des Schließungsbogens eben wie früher auf die Widerstandseinheit eines 1 mm dicken Fadens verdünnter Schwefelsäure (spez. Gew. 1,25) von 1 m Länge reduziert ist, wird genügen.

II Flaschen*).

Widerstand	
0,015 m	2 Streifen, zuweilen 3 Streifen, wovon der letzte sehr lichtschwach
0,029	2 Streifen, wovon der letzte sehr lichtschwach; zuweilen nur 1 Streifen
0,037	1 Streifen
0,045	1 Streifen, schien schon an Breite etwas zuzunehmen.

[467] VIII Flaschen.

Widerstand	
0,010 m	2 Streifen, selten einer allein
0,015	1 Streifen, ohne Andeutung des zweiten, etwa $1\frac{1}{4}$ cm breit
0,022	1 Streifen, scheint wenig verlängert (etwa $1\frac{1}{2}$ cm breit)
0,045	1 Streifen, mehr als doppelt so breit, wie bei 0,015 Widerstand.

Man sieht hieraus, daß die verdünnte Schwefelsäure durch einen Neusilberdraht vollkommen ersetzt werden kann, und *daß bei den Entladungen der Leidener Flasche durch Flüssigkeiten* (in denen natürlich kein Funke auftreten darf), *keine Polarisationserscheinung in denselben eine merkliche Wirkung äußert;* denn dann müßte bei Anwendung des Neusilberdrahtes ein *größerer* Widerstand für die Grenze der *oszillatorischen* Entladung gefunden werden, als bei Einschaltung von flüssigen Widerständen, während aus den Beobachtungen eher hervor-

*) Die Rotationsgeschwindigkeit bei diesen beiden Beobachtungsreihen war dieselbe, wie früher bei Anwendung einer Flasche, von der bei den andern Beobachtungsreihen aber verschieden, so daß sich die bei 8 Flaschen angegebene Breitenausdehnung nicht mit allen früheren vergleichen läßt.

gehen würde, daß der *Grenzwiderstand* mit dem Neusilberdrahte umgekehrt ein etwas kleinerer ist. Diese geringe Abweichung, die übrigens schon fast innerhalb der Grenze der Beobachtungsfehler liegt, dürfte wohl als eine unwesentliche zu betrachten sein, hervorgebracht vielleicht durch mangelhafte Kenntnis der Widerstände. Es ist ja hinreichend bekannt, wie große Abweichungen die Angaben verschiedener Beobachter an metallischen, besonders aber an flüssigen Widerständen zeigen.

[132] Über die elektrische Flaschenentladung[14]).

II. [Photographische Beobachtung.]

Die Methode der Untersuchung — den rotierenden Hohlspiegel, welcher das Bild des Entladungsfunkens in natürlicher Größe auf einer bestimmten Ebene projiziert — und die gebrauchten Apparate habe ich im wesentlichen [s. oben S. 47 u. ff.] beschrieben; ebenso die Hauptsachen hervorgehoben, welche unmittelbar mit dem Auge während des Aufblitzens der Erscheinung wahrzunehmen sind. Indem ich auf ein eigentümliches Zerfallen des Bildes in regelmäßige Querabteilungen aufmerksam machte, wofür ich eine schematische Abbildung [Taf. II Fig. 15] beifügte, und die Verhältnisse, unter denen jenes Zerfallen eintrat, näher untersuchte, sah ich mich gezwungen, der Übersichtlichkeit und Deutlichkeit halber eine Theorie zugrunde zu legen, für deren Richtigkeit ich vorläufig nur die Übereinstimmung der von mir auf experimentellem Wege gefundenen Gesetze mit gewissen schon früher bekannten Ergebnissen der Rechnung anführen konnte [s. oben S. 27 u. ff.]. Indem ich aus denselben Gründen jene Theorie [s. oben S. 45 u. ff.] als bekannt voraussetze, möchte ich jetzt auf die Resultate näher eingehen, welche ich mit Hilfe der Photographie erhalten habe, möchte das Variable in der Erscheinung vom Konstanten zu trennen suchen, um wo möglich für das letztere bestimmte Gesetze zu finden.

Daraus, daß das nach der Breite langausgezogene Funkenbild auf einer präparierten photographischen Platte aufgefangen wird, entspringt der wesentliche Vorteil, daß nicht nur der überraschende Lichtblitz sich zu ruhiger Betrachtung fixiert, sondern auch, daß viel schärfere Zeichnungen sich im Funkenbilde unterscheiden und messen lassen. Doch [133] ich glaube, die Vorteile dieser schon in den Berichten der Königl. Sächs. Gesellschaft der Wissenschaften von 1859 von mir bekannt

gemachten Art der Beobachtung sind nach allen Seiten hin so evident, daß ich kein Wort weiter darüber zu sagen brauche.

Für die Ausführung will ich nur noch erwähnen, daß gute photographische Präparate mir im allgemeinen nicht ihren Dienst versagten; obschon in vielen Fällen, z. B. um die anfangende kontinuierliche Entladung darzustellen, auf die äußerste Empfindlichkeit zu halten war. Das Auge ist zwar imstande, noch schwächere Lichteindrücke von kurzer Dauer wahrzunehmen, als die photographische Platte; allein gegen das Licht des Funkens zeigt sich auch die letztere ausnehmend empfindlich. Aus den später folgenden Zahlen wird man schließen können, daß in einzelnen Fällen die Einwirkung des Lichtes auf einen Punkt der Platte etwa ein Milliontel einer Sekunde [zum Teil auch wohl weniger] gedauert, dennoch aber einen kräftigen Eindruck hinterlassen hat. Man wird zunächst daraus folgern, daß der elektrische Entladungsfunke eine außerordentliche Menge chemischer Strahlen enthält.

*Photographische Bilder**) *des Entladungsfunkens bei ruhendem Funken.* Teils, weil es zur Deutung des Funkenbildes bei Bewegung des Spiegelrotationsapparates zweckdienlich ist, teils, weil auch noch andere Aufschlüsse dadurch gegeben werden, bespreche ich zunächst die zahlreichen Funkenbilder, welche ich bei ruhendem Spiegel dargestellt habe.

Fig. 1 Taf. III gibt das Bild eines Entladungsfunkens zwischen zwei mit *keiner* isolierenden Substanz überzogenen Kupferkugeln bei zwar langem, aber gut leitendem Schließungsbogen, [134] für den die Beobachtungen am rotierenden Spiegel eine beträchtliche Reihe von Querabteilungen (Oszillationsstreifen) hatten wahrnehmen lassen. An jedem Pole unterscheidet man deutlich mehrere Punkte, von denen die Entladung ausgegangen ist. Wenn dieselben auf dem Bilde in einer Reihe stehen, weil sie auf eine Ebene projiziert sind, so darf man doch annehmen, daß sie in Wirklichkeit unregelmäßig auf den einander gegenüberstehenden Kugelabschnitten verteilt sind. Das Ansehen der Kugeloberflächen nach einer

*) Ich möchte hier ein für allemal bemerken, daß sämtliche Funkenbilder in derselben Größe dargestellt sind, wie ich sie entweder bei ruhendem oder bei rotierendem Spiegel erhalten habe, ferner daß die Lage des dem Innenbeleg zunächst stehenden Poles durch +, die Lage des mit dem Außenbeleg näher verbundenen Poles durch — bezeichnet ist.

solchen Entladung dient zur Bestätigung. Schon früher zeigte ich durch die Darstellung Priestleyscher Flecke*), daß bei einer Entladung, für welche der rotierende Spiegel eine Reihe von Querstreifen gab, eine Zeichnung auf den beiden Polkugeln entstand, die, an beiden dem Charakter nach sehr ähnlich, auf ein Ausströmen der Elektrizität von mehreren diskreten Punkten jeder Kugel schließen ließ.

Ich erklärte dies damals durch die Annahme, daß die Elektrizität in den verschiedenen Oszillationen nicht genau denselben Weg zwischen den beiden Polflächen verfolge, indem ich weiter zeigte, daß bei Einschaltung eines Widerstandes, bei welchem im rotierenden Spiegel nur die erste der Querabteilungen sichtbar war, und den ich Grenzwiderstand nannte, die Zeichnungen auf beiden Kugeln einen durchaus verschiedenen Charakter hatten: daß auf der positiven Kugel ein energischer, auf einen kleinen Punkt konzentrierter Eindruck zu bemerken war, auf der negativen Kugel sich dagegen der Eindruck nur wie ein leichter Schleier, jedoch auf einen weit größeren Teil der Fläche ausgebreitet zu erkennen gab.

Dieselbe Annahme möchte ich hier wieder zur Erklärung benutzen und für die verschiedenen Ansätze, welche der Funke bildet, verschiedene aufeinanderfolgende Oszillationen als Ursache setzen.

Es stimmt mit dieser Ansicht überein, daß mit wachsendem Widerstande des Schließungsbogens die Zahl der beobachteten [135] Ansatzstellen im Durchschnitt kleiner wird. Bei einem Widerstande, für den der rotierende Spiegel drei bis vier Oszillationsstreifen zeigte, habe ich z. B. Fig. 2 Taf. III erhalten, während Fig. 3 eine Entladung darstellt, wo der zweite Oszillationsstreifen bei rotierendem Spiegel kaum angedeutet war, und endlich Fig. 4 bei einem Widerstand erhalten ist, der den Grenzwiderstand um etwa das Doppelte übertraf. In letzterem Falle habe ich *nie* die Andeutung eines zweiten Ausströmungspunktes wahrgenommen. Sind die Kugeln fein poliert, so geben sie noch zu einem Spiegelbild des ganzen Funkens Veranlassung. Ein feiner, etwa 1 mm langer Fortsatz, welcher sich in Fig. 6 an das Funkenende der positiven Seite, in Fig. 7 an das der negativen Seite als ein kleiner Schweif anschließt, wird, wie ich hoffe, auf der Lithographie hinreichend deutlich ein solches Spiegelbild erkennen lassen. Ich erwähne desselben besonders,

*) [Siehe Taf. III Fig. 11.]

damit es nicht etwa als ein zweiter Ausströmungspunkt gedeutet werde.

Das Ausströmen der Elektrizität von mehreren diskreten Punkten der Kugeln bei einem gut leitenden Schließungsbogen kann für die Beobachtung der Oszillationen und die Messung ihrer Dauer von Nachteil sein, da in der Verbreiterung des Funkens nur zeitliche Veränderungen gesucht werden, die Lage des Funkens selbst aber während der Entladung als unveränderlich vorausgesetzt wird. Um einer solchen Voraussetzung zu genügen, lassen sich zwei Wege einschlagen: entweder kann man für den zu beobachtenden Funken dünne Drähte als Pole anwenden, indem man die Entladung an einem anderen Punkte der Leitung zwischen Kugeln einleitet, oder man kann zu Polen Metallkugeln verwenden, welche, ausgenommen zwei kleine, einander gegenüberliegende Punkte, mit einer isolierenden Substanz überzogen sind.

Das Funkenbild Fig. 5 Taf. III zeigt die Form eines Entladungsfunkens bei gut leitendem Schließungsbogen, wenn an der positiven Seite ein nackter, dünner Kupferdraht, an der negativen eine Kupferkugel, welche bis auf eine kleine, etwa [136] $\frac{1}{4}$ mm weite Öffnung einen Schellacküberzug hatte, angebracht war. Man sieht, daß am Ausströmungspunkte der Kugel sich der Funke am meisten verengt, und wird es aus diesem Grunde wohl zweckmäßig finden, daß ich zu Polkörpern bei den Beobachtungen für Bestimmung der Oszillationsdauer Kugeln gewählt habe, die auf solche Art mit Schellack oder Kautschuk überzogen waren.

Vergleicht man die Lichtentwicklung, welche bei verschiedener Form der Pole stattfand, so springt noch ein anderer Vorteil dieser Wahl in die Augen. Je mehr ich den Strom der Elektrizität künstlich auf einen engen Raum beschränkte, desto größer zeigte sich im allgemeinen die im Funken entwickelte Lichtintensität. Fig. 6 und 7 mögen dafür ein Beispiel geben. Eine Entladung von acht Flaschen mit Einschaltung des der Leitung und Flaschenzahl entsprechenden Grenzwiderstandes lieferte das Bild Fig. 6, als die positive Kupferkugel nackt und die negative bis auf einen kleinen Punkt mit Schellack überzogen war, das Bild Fig. 7 dagegen als die Kugeln miteinander vertauscht waren.

Den Entladungsfunken, welcher zwischen zwei bis auf einen kleinen Punkt mit Schellack überzogenen Metallkugeln

sich bildet, habe ich unter verschiedenen Verhältnissen in bezug auf seine Gestalt beobachtet.

Bei gut leitendem Schließungsbogen ging, je nachdem die freigelassenen Punkte größer oder kleiner waren, das Licht breiter oder enger begrenzt von den Polflächen büschelförmig aus und zeigte in der Mitte zwischen den beiden Funkenenden die größte Ausbreitung (ähnlich wie in Fig. 5). Die Beobachtungen lehrten, daß diese Ausbreitung mit zunehmender Flaschenzahl zunimmt, mit zunehmendem Widerstande abnimmt, daß sie aber außerdem auch von der Größe und Form der Öffnungen im Schellacküberzuge, sowie von der Natur des zu den Kugeln genommenen Metalles abhängig ist.

Bei einem Widerstande, der den Grenzwiderstand übertraf, zeigte sich das Bild des Entladungsfunkens meistens zu [137] einer Form zusammengezogen, wie sie Fig. 8 darstellt. Eine feine Funkenlinie*) verbindet die Pole, außerdem tritt aber aus der Öffnung des Schellacküberzuges an jedem der beiden Pole ein Lichtbüschel hervor, der im allgemeinen um so schwächer wird, je mehr man den Grenzwiderstand überschreitet. Die feine Funkenlinie scheint der einleitende Partialfunke zu sein, der auf einem mehr oder weniger geraden Wege die Kontinuität des Schließungsbogens herstellt; während die Entladung ihren weiteren Fortgang nimmt, scheinen von beiden Polen Metallteilchen losgerissen und aus der Öffnung im Schellack wie aus einem Krater herausgeschleudert zu werden. In einzelnen selteneren Fällen, wo die Elektrizität im einleitenden Partialfunken einen abnormen Weg eingeschlagen hatte, zeigte sich für diese Annahme ein deutlicher Beleg. Fig. 9 stellt das Bild eines solchen Entladungsfunkens zwischen überzogenen Zinnkugeln bei Anwendung von acht Flaschen und überschrittenem Grenzwiderstande im Schließungsbogen dar. Die Entladungserscheinung Fig. 9 sowohl als das unter denselben Bedingungen zwischen Magnesiumpolen entstandene Bild Fig. 10 dürften vielleicht außerdem zu der Ansicht führen, daß die fortgeschleuderten Metallteilchen, wenn sie losgerissen sind, nichts weiter mit der Elektrizitätsbewegung zu tun haben, daß sie beim Abreißen eine Richtung der Bewegung erhalten, nach der sie fortfliegen, gleichviel ob diese Richtung mit der Bahn

*) Die feine Linie erscheint nicht immer einfach und kontinuierlich; in mehreren Fällen habe ich sie wie aus zwei Stücken zusammengesetzt beobachtet, wovon Fig. 3 eine Vorstellung gibt.

der Elektrizität, welche durch den ersten Partialfunken gegeben wurde, zusammenfällt (wie es in der Mehrzahl der Fälle allerdings stattfinden muß), oder ob beide Wege auseinander gehen*).

[138] Indem ich eine Menge von Entladungsbildern darstellte, zeigte sich im allgemeinen, daß die fortgeschleuderten Teilchen in dem Bilde um so weiter zu verfolgen waren, je kleiner die Öffnung in der isolierenden Substanz, je enger also der Krater ist, aus dem sie herausflogen.

Ist in der Leitung der für die elektrische Oberfläche und den gebrauchten Schließungsbogen gültige Grenzwiderstand überschritten, so habe ich schon früher angenommen, daß sich die Elektrizität im Funken während der ganzen Dauer der Entladung nur in *einer* Richtung bewegt. Für diesen Fall können wir daher an die Funkenbilder die Frage richten, wo die größte Lichtintensität stattfinde, da, wo die positive Elektrizität aus dem metallischen Leiter austritt, oder da, wo sie wieder eintritt. Allein die zahlreichen Bilder, welche ich dar-

---

*) Es dürfte vielleicht nicht uninteressant sein, auf die Preisfrage hinzuweisen, welche von der Königl. Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen für das Jahr 1858 gestellt und für 1861 wiederholt worden ist. Es wird darin in bezug auf das Überführen von Metallteilchen bei elektrischen Entladungen gefragt:

1. Ob nur von der positiven Elektrizität solche Teilchen abgerissen und fortgeführt werden, oder auch von der negativen, und wovon das eine odere andere abhänge.

2. Ob die Masse der fortgeführten Teilchen in einem bestimmbaren Verhältnis zur Elektrizität stehe, welche von dem einen Konkuktor zum andern entladen wird.

Aus den Fig. 8, 9 und 10 Taf. III, welche einen Entladungsfunken bei einem Widerstande zeigen, der für gewählte Flaschenzahl und Leiterlänge den Grenzwiderstand um mehr als das Doppelte übertraf, läßt sich ohne Bedenken schließen, daß hier von beiden Elektrizitäten Teilchen abgerissen werden, indem für den Büschel, welcher von jedem Pole ausgeht, wohl keine andere Ursache gefunden werden kann, als die glühend fortgeschleuderten Metallteilchen, vielleicht noch begleitet von einigen mit fortgerissenen Schellackpartikelchen.

Wenn aus Fig. 9 wohl geschlossen werden dürfte, daß die Teilchen nach ihrer Losreißung nichts mehr mit der Elektrizitätsbewegung zu tun haben, so glaube ich doch, wäre es übereilt, daraus für die zweite Frage eine negative Antwort zu folgern, und gern bescheide ich mich, in vorstehenden Beobachtungen nur eine Bestätigung und Erweiterung dessen zu finden, was schon früher auf andere Weise beobachtet ward. (Siehe v. Breda, Pogg. Ann. 1847, Bd. 70, S. 326.)

stellte, gaben selbst für den Fall, wo ich beide Polflächen von durchaus gleicher Beschaffenheit wählte, keine entschiedene Antwort. Nur in der *Mehrzahl* der Fälle habe ich zwischen gleichartigen Polen am negativen Pole die größere Lichtintensität wahrgenommen. Fig. 4 Taf. III zeigt das Überwiegen des negativen Lichtes zwischen [139] Kupferkugeln, Fig. 11 Taf. III zwischen fein polierten Stahlkugeln (mit alleiniger Weglassung der von den Kugeln herrührenden Spiegelbilder).

Ich möchte zugleich an das erinnern, was ich über die Verschiedenheit der Priestleyschen Flecke bei Einschaltung des Grenzwiderstandes [s. oben S. 35] gesagt habe, und der Bequemlichkeit halber die Zeichnung, welche die kontinuierliche Entladung auf den Polflächen von Stahl hervorbrachte, hier noch vorführen. Fig. 11 *a* und *b* waren die Spuren, welche die Entladung durch den Funken Fig. 11, respektive auf der mit dem Außenbeleg und der mit dem Innenbeleg verbundenen Stahlkugel, zurückgelassen hatte, mit einer zehnfach vergrößernden Lupe beobachtet*).

Was bei der Vergleichung des photographischen Lichteindrucks und der Priestleyschen Flecke zunächst auffällt, ist, daß auf der Polkugel, an welcher die meisten chemischen [photographisch wirksamen] Strahlen sich entwickelten (d. i. auf der negativen Kugel), der geringste Eindruck hinterlassen war. Hier zeigte sich jene von mir a. a. O. schon erwähnte Wolke von Oxyd als ein leichter, graublauer Hauch. Der positiven Kugel, von der die Elektrizität der Flaschen bei der Entladung ausging, entsprach dagegen eine geringere [photographische] Lichtwirkung, während auf ihrer Oberfläche nach der Entladung eine viel tiefere Spur, freilich auf einen engeren Raum, konzentriert zurückgelassen war. Hier zeigte sich nämlich besonders dunkel und scharf jener ebenfalls a. a. O. erwähnte kleine runde Fleck, der in der Mitte ein mehr oder weniger zerschmolzenes Ansehen hat.

---

*) Noch einmal möchte ich die Brauchbarkeit der sich hierauf gründenden Methode zur Bestimmung des Grenzwiderstandes hervorheben, sobald man mit beträchtlichen Elektrizitätsmengen operieren kann, und hinzufügen, daß die Figuren der Flecke auf fein polierten Kugeln von Stahl besonders klar hervorzutreten scheinen, während die Unterschiede auf Zinn- oder Zinkkugeln nicht charakteristisch waren. Wenn ich diese Wahrnehmungen mehr nur beiläufig gemacht habe, so glaube ich doch, verlohnte sich eine eingehende Untersuchung dieser Verhältnisse wohl der Mühe.

[140] Was die Abhängigkeit der Lichtintensität des Funkens von dem angewandten Metall der Pole betrifft, so kann ich hier nur im allgemeinen sagen, daß die verschiedenen Metalle sich in dem Grade ihrer Wirkung allerdings verschieden zeigten; Kupferpole gaben mir zum Beispiel, alle übrigen Umstände berücksichtigt, eine besonders geringe, Magnesium, als Pole angewandt, eine besonders hohe Intensität der photographischen Wirkung des Entladungsfunkens. Eine bestimmte Klassifikation derjenigen Metalle, welche ich versucht habe, war in dieser Hinsicht bei den auftretenden Unregelmäßigkeiten der Explosion unmöglich.

Photographische Bilder des Entladungsfunkens bei rotierendem Spiegel. Die Bilder bieten ein ganz verschiedenes Ansehen, je nachdem sie mehr oder weniger auseinander gezogen sind; dicht aneinander liegend und zum Teil sich deckend, erscheinen die Querabteilungen, in welche das verbreiterte Funkenbild unter Umständen zerfällt, auf Fig. 12, 30 und 31 Taf. III, wovon die beiden letzteren durch Photographieren zweier [gleichzeitiger] Funkenstrecken in demselben Schließungsbogen entstanden sind.

Es war *bei gut leitendem, aber kürzerem Schließungsbogen*, wo ich die Bilder wegen unzureichender Rotationsgeschwindigkeit nur in dieser Weise zur Anschauung bringen konnte. Selbst mit der größten von mir angewandten elektrischen Oberfläche (16 Flaschen von zusammen 3,21 qm einseitiger Belegung) ließ sich, wenn der Schließungsbogen auf die notwendigsten Stücke beschränkt war, das Bild mit dem gebrauchten Rotationsapparate nicht weiter auseinander ziehen, als es in Fig. 12 (bei 87 Spiegelrotationen in einer Sekunde und einem Leitungsweg von über 7 m) geschehen ist. An diesem verbreiterten Bilde eines zwischen Kupferkugeln erzeugten Entladungsfunkens sieht man, wie dasselbe streifenartig sich in lauter äquidistante Abteilungen zerlegt. Doch nur an den Säumen lassen sich hier die Streifen deutlich unterscheiden, denn wenn man dieselben [141] gegen die Mitte gerichtet zu sehen glaubt, als wenn sie die Mitte durchsetzten, kann dieses Durchsetzen ebensowohl auf Täuschung beruhen, indem die Richtung der Streifenenden außer von der *Geschwindigkeit* der geschleuderten Teilchen auch von der *Richtung* letzterer wesentlich abhängen muß (vgl. Fig. 10 Taf. III bei ruhendem Spiegel). Es ist überhaupt schwer, das Zusammenwirken von Raum und Zeit richtig zu bestimmen, sobald man sich nicht mehr auf

die äußersten Ränder des Funkenbandes in der Betrachtung beschränkt, wo die leuchtenden Teilchen der Lage des vom Schellack befreiten Punktes der Kugeln im Bilde genau entsprechen.

Als charakteristisch springt ein regelmäßiges Alternieren der Lichtintensität an beiden Säumen in die Augen, derart, daß die Querstreifen zwar im allgemeinen gegen das Ende der Entladung an Intensität abnehmen, allein nicht auf gleiche Weise abnehmen. Die Querstreifen, welche der Reihe der ungeraden Zahlen entsprechen, bilden für sich, ebenso die Querstreifen, welche der Reihe der geraden Zahlen entsprechen, vom ersten angerechnet, wiederum für sich, sowohl am oberen als am unteren Saume eine gleichförmig abnehmende Reihe. Gegen das Ende der Entladung wird die Intensität der Streifen schwach, und zugleich verschwinden auch die Unterschiede mehr und mehr. Oft sind die Unterschiede überhaupt schwach, wie in den beiden gleichzeitigen Funkenbildern Fig. 30, wo sie auf der Lithographie kaum noch wahrgenommen werden.

An dem oberen Saume von Fig. 12 kann es zweifelhaft sein, wo man den ersten Querstreifen zu setzen habe; ein solcher Zweifel kann leicht entstehen, wenn die Explosion sehr heftig und unregelmäßig ist, und das Bild nicht stark auseinander gezogen wird, besonders wenn im ganzen mittleren Teile des Funkenbandes (wie bei Fig. 30) die Querstreifen vollständig ineinander verwischt sind.

Jenes regelmäßige Alternieren der Lichtintensität, wofür ich allerdings außer Fig. 12 noch deutlichere Abbildungen hätte geben können, läßt sich zu häufig beobachten, als daß [142] man es für eine Zufälligkeit halten dürfte, und zwar läßt sich, wenn die Querstreifen auch den mittleren Teil des Funkenbandes deutlich durchsetzen, und die Pole in ihrer äußeren und inneren Beschaffenheit einander möglichst gleich gebildet sind, oft sehr schön verfolgen, daß, wenn das eine Ende eines Querstreifens ein relatives Maximum in der Reihe zeigt, am andern Ende desselben Querstreifens ein relatives Minimum der Intensität auftritt, sowie, daß sich diese Erscheinung beim folgenden Querstreifen umkehrt, beim nächstfolgenden von neuem umkehrt usw. Fig. 31 Taf. III zeigt die Unterschiede leider nicht so deutlich als die Originalplatte, weil ich eine zu große Besorgnis gehegt habe vor einer Übertreibung in der Zeichnung auf dem Steine, indem ich

es durchaus vermeiden wollte, schematische Abbildungen zu geben.

Da in einem elektrischen Strome nichts anderes existiert, was seine Richtung wechseln, was sich umkehren kann, als die Richtung des Stromes selbst, so sehe ich die Möglichkeit einer Erklärung nur in der Annahme, daß in jeder Querabteilung das Licht eines elektrischen Stromes photographiert wird, der in entgegengesetztem Sinne fließt wie in der folgenden oder vorhergehenden. Nimmt man aber *einmal* einen regelmäßigen Wechsel der Stromrichtung von Querabteiluug zu Querabteilung an, dann muß man ihn *überall* annehmen, wo man das Funkenband unter denselben Bedingungen der Entladung in dieselben Querabteilungen zerfallen sieht, gleichviel, ob das Alternieren der relativen Lichtmaxima deutlich hervortritt oder nicht. Es ist nicht wohl denkbar, daß die Querabteilungen unverändert ihre Dauer bewahrten, wenn die Elektrizitätsbewegung so wandelbar wäre, wie ich es doch im ganzen von der Lichtwirkung der fortgeschleuderten glühenden Metallpartikelchen behaupten muß*).

[**143**] Wenn man hierin eine Gewähr für die Theorie der Oszillationen finden zu können glaubt, so wird man, wenn man sich auf den Standpunkt dieser Ansicht stellt, zunächst fragen, welcher Pol in jeder Querabteilung die größte Lichtintensität liefere, derjenige, von dem die positive Elektrizität ausströmt, oder der, in welchen sie wieder eintritt.

Eine entschiedene Antwort hat mir das Experiment auf diese Frage nicht gegeben. Zwar habe ich bei Anwendung von Zinnkugeln fast ohne Ausnahme den positiven Pol überwiegend gefunden**), bei Anwendung von Eisen oder Stahl (ebenso von Nickel) fast in allen Fällen den negativen, allein es ist leicht möglich, daß die Größe des Kraters, die, wie ich zum Teil schon gezeigt habe und später noch weiter zeigen

*) Bei dem Gange meiner eigenen Untersuchungen muß ich auf diese Schlußfolgerungen ein besonderes Gewicht legen, da sie mich auf eine bis dahin noch nicht weiter bestätigte Theorie führten, bevor Herr Dr. Paalzow [1861] seine Beobachtungen an den Geißlerschen Röhren usw. gemacht hatte, bevor ich wußte, daß die Teilung des Entladungsstromes zwischen zwei Paaren ungleicher Polflächen im luftverdünnten Raume [s. oben S. 38] so eklatante Resultate liefern kann.

**) Auch für Blei und Silber erhielt ich diesem entsprechende Bilder, allein die Unterschiede waren nicht so frappant wie beim Zinn.

werde, auf die Art des Fortschleuderns der Teilchen so wesentlichen Einfluß hat, auch hier wieder eine Rolle spielt. Ich habe wenigstens bei Anwendung von Kugeln aus Kupfer eine Anzahl von Bildern erhalten, wo der negative Pol stets die größte Intensität zeigte, eine andere (geringere) Anzahl, wo der positive Pol der zumeist leuchtende zu sein schien, außerdem freilich auch noch eine nicht unbedeutende Anzahl, wo ein regelmäßiges Alternieren nicht deutlich hervortrat.

Bei langem, gut leitendem Schließungsbogen habe ich die Querabteilungen zu einer Breite auseinander ziehen können, bei welcher eigentümliche Erscheinungen zum Vorschein kamen.

Außer der Zeichnung, welche das ganze Funkenband durch die Einteilung in gleiche Querräume erhält, tritt in jeder Querabteilung noch für sich wieder eine besondere Zeichnung hervor. Eine zahlreiche Menge von Bildern habe ich dargestellt und eine solche Mannigfaltigkeit der Erscheinungen gefunden, daß ich anfangs an einer bestimmten Deutung [144] verzweifeln zu müssen glaubte. Durch fortgesetzte Beobachtungen darf ich dennoch behaupten, einige Anhaltspunkte gewonnen zu haben, wenn ich mich auch keineswegs vermesse, die Eigentümlichkeiten eines jeden besonderen Falles stets auf die Ursachen zurückführen zu können.

Zunächst möchte ich auf die Figuren*) 17—22 Taf. III, welche bei derselben Rotationsgeschwindigkeit des Apparates erhalten sind, sowie auf die zweite Hälfte der Figuren 25 und 26 aufmerksam machen. Dieselben rühren sämtlich von Entladungen her, welche zwischen Polen von Eisen zustande gekommen sind. Die den Figuren 17, 18, sowie 20—22 entsprechenden Photographien sind auch noch bei Anwendung derselben elektrischen Oberfläche, sowie ein und desselben Schließungsbogens hervorgebracht; das einzige, was hier verändert wurde, ist die Form der Pole, indem Fig. 18 eine Entladung zwischen Drähten, Fig. 17 eine Entladung zwischen Kugeln darstellt, welche letztere die kleinste kraterförmige Öffnung im Schellacküberzuge besaßen, die ich anwenden konnte, ohne daß der Schellacküberzug teilweise durchbrochen wurde, während bei Fig. 20—22 die Öffnung wesentlich größer (etwa $\frac{1}{2}$ mm) war.

---

*) Es braucht wohl kaum erwähnt zu werden, daß nur der Raumersparnis halber viele von den gegebenen Entladungsbildern auf der Tafel vor ihrem Ende abgebrochen sind.

Auf den meisten der angezogenen Figuren bemerkt man einen merkwürdigen Unterschied der beiden Enden einer Querabteilung. Um bei der ersten Querabteilung (z. B. in Fig. 22) zu beginnen, so mache ich hier auf das stoßweise Austreten des Lichtes am Pole des Außenbelegs (dem negativen Pole) aufmerksam, welches einen grellen Gegensatz bietet zu dem Lichte, das weit ruhiger und gleichförmiger von dem Pole des Innenbelegs der positiv geladenen Flaschen ausgeht[15]). Wie sich nach der Theorie der Oszillationen der Strom in der zweiten Querabteilung umkehrt, so zeigt auch die zweite Querabteilung auf den Abbildungen denselben eigentümlichen Unterschied in umgekehrter Weise, so daß man das diskontinuierliche Austreten [**145**] des Lichtes nunmehr am Pole des Innenbelegs wahrnimmt. Bei der dritten Querabteilung tritt eine abermalige Umkehr auf usw.*).

Jenes vorzugsweise diskontinuierliche Austreten des Lichtes an dem negativen Pole, welches ich bei Anwendung keines andern Metalles so charakteristisch beobachtet habe, als wenn die Pole von Eisen gewählt waren, zeigte sich bei verschiedener Schlagweite (Fig. 20 und 21 Taf. III) sowohl, als bei verschiedener elektrischer Oberfläche (Fig. 19), war aber durch die Form der Flächen, zwischen denen die Elektrizität überströmte, wesentlich beeinflußt. Ich habe gefunden, daß sich ein der Fig. 21 entsprechendes Funkenbild nur dann sicher erhalten läßt, wenn die feinen Öffnungen auf den nach mehrfach erwähnter Art überzogenen Kugeln weder zu klein, noch zu groß sind. War die Öffnung zu klein, so verliefen die meist feineren Lichtstreifen fast senkrecht zur Richtung des Funkenbandes; es fand nicht mehr das Ineinanderflechten der Lichtkurven statt, und es konnte zweifelhaft erscheinen, von welchem der beiden Enden einer Querabteilung der unregelmäßige Austritt des Lichtes erfolgt war, Fig. 17. War die Öffnung zu groß, dann verlor die Zeichnung meistens an Feinheit und Bestimmtheit, die Bahnen neigten sich mehr zu gleicher Richtung mit der Richtung des Bandes; die Erscheinung wurde überhaupt demjenigen Falle ähnlicher, wo die Polkugeln ganz nackt waren. In diesem Falle nämlich beschränkte sich das

*) Daß diese Erscheinungen nicht etwa nur von dem die Öffnung umkleidenden Schellack oder Kautschuk herrühren, beweist der Umstand, daß ich ähnliche Unterschiede, freilich nicht so scharf und präzise, auch dann häufig beobachtet habe, wenn die Kugeln der Pole frei waren, oder wenn Drähte die Pole bildeten.

Licht mehr auf die Säume des Funkenbandes ähnlich wie bei dem Bilde Fig. 18 einer zwischen Eisendrähten zustande gekommenen Entladung*); die Lichtintensität der Entladung [146] im ganzen war geringer, und ein diskontinuierliches Austreten des Lichtes am negativen Pole höchstens nur undeutlich wahrzunehmen.

Doch selbst wenn die Polflächen scheinbar die günstigste Beschaffenheit hatten, traten in einzelnen Fällen Unregelmäßigkeiten ein, die (wie z. B. in Fig. 22 Taf. III die Unähnlichkeit der beiden Säume) ich nicht immer zu erklären imstande war. Indes für die Deutung der Erscheinungen im allgemeinen lassen die zahlreichen Photographien, welche ich mit Vertauschung und Veränderung der Pole dargestellt habe, wie ich glaube, keinen Zweifel mehr übrig. Die Lichtbahnen, welche sich in den Figuren verfolgen lassen, entsprechen ohne Frage der Bewegung der von den Polen fortgeschleuderten glühenden Metallpartikelchen; indem die Lage jedes glühenden Teilchens auf dem Bilde durch die Zusammensetzung der vertikalen Ortskomponente mit der horizontalen Zeitkomponente bestimmt ist, können uns die ineinander verflochtenen Lichtkurven Aufklärung geben über manche Punkte bei dem Überführen ponderabler Teile durch die Elektrizität.

Wenn sich ein leuchtendes Teilchen mit einer gewissen konstanten Geschwindigkeit in gerader Richtung von einem Pole zum andern bewegt, so muß sich dieses Teilchen als eine gerade Linie auf der Platte photographieren, und zwar muß die Neigung dieser Geraden mit der Richtung des ganzen Funkenbandes eine um so kleinere sein, je geringer die Geschwindigkeit des Teilchens im Verhältnis zur Rotationsgeschwindigkeit des Spiegels ist. Findet das Teilchen auf seinem Wege einen Widerstand, so muß die Geschwindigkeit abnehmen, und wenn der Widerstand kontinuierlich wirkt, so muß die Gerade sich zu einer Kurve gestalten, deren konvexe Seite demjenigen Pole zugekehrt ist, gegen den das Teilchen geschleudert wurde. Die Tangente an jedem Punkt der Kurve wird dann der Geschwindigkeit des Teilchens im entsprechenden Augenblick proportional sein. Die von jedem Saume

*) Wenn die Anwendung von Drähten statt der nackten Kugeln eine ähnliche Figur lieferte, so schien mir die Lichtintensität im ganzen doch für Drähte bei Entladung von nahe derselben Elektrizitätsmenge größer zu sein, als für nicht überzogene Kugeln aus demselben Material.

(z. B. auf Fig. 21) aus[147]gehenden Lichtbahnen zeigen in der Tat den Charakter solcher Kurven und berechtigen, wie ich glaube, zu einigen allgemeinen Schlüssen.

Wenn mir Fig. 9 und 10 Taf. III zu beweisen schienen, daß die aus der kraterförmigen Öffnung des Schellacküberzuges herausfliegenden Metallteilchen nichts weiter mehr mit der Elektrizitätsbewegung zu tun haben, so blieb es doch noch ungewiß, ob die Geschwindigkeit, mit der die Teilchen herausgeschleudert werden, abhängig sei von der gerade stattfindenden Stromstärke. Im allgemeinen muß man wohl einen solchen Zusammenhang voraussetzen, da die Elektrizität ja die letzte Ursache des Fortschleuderns ist. Obwohl sich die Kurven in den verbreiterten Funkenbildern im allgemeinen um so steiler zeigen, einer je früheren Querabteilung sie angehören; obwohl sie innerhalb einer Querabteilung vielfach in der Mitte am steilsten sind, so wird man sich doch wundern können, daß — eine regelmäßige Elektrizitätsbewegung nach der Theorie der Oszillationen vorausgesetzt — keine größere Regelmäßigkeit in der Zeichnung auf den Figuren zu beobachten ist. Man wird zu dem Schlusse gedrängt, daß entweder die Richtung, nach der die Teilchen fortfliegen, in jedem Augenblick großen Schwankungen unterliegt, oder daß das Band, welches die Geschwindigkeit des Fortschleuderns mit der Stromstärke in einem geraden Verhältnis verbindet, ein ziemlich loses ist. Mit Rücksicht auf die Schwankungen, welche sich zugleich in der Lichtintensität zeigen, möchte ich das letztere annehmen.

In bezug auf diese Schwankungen der Intensität des von jedem Pole ausgehenden Lichtes und in bezug auf das, was sich trotz dieser Schwankungen als vorwiegend erkennen läßt, möchte ich noch einiges bemerken. Im allgemeinen sieht man auf den vorliegenden Entladungsbildern für Eisenpole ein Alternieren in Lichtintensität, dergestalt, daß an der Seite, wo das diskontinuierlichere Ausströmen des Lichtes stattfindet (am negativen Pole) auch zugleich ein Intensitätsmaximum herrscht. Allein, daß die [148] Unterschiede der Intensität variabler sind als die Unterschiede der Zeichnung, kann z. B. Fig. 19 Taf. III beweisen, wo der untere Saum zwar ein Alternieren, aber, wenigstens in den sechs ersten Querabteilungen, in entgegengesetztem Sinne wie nach der vorher beschriebenen Weise, zeigt, nämlich so, daß das ruhigere Licht des positiven Poles die größere Intensität besitzt.

Fig. 18 stellt eine Entladung dar, wie ich sie meistens zwischen Eisendrähten beobachtet habe; als eigentümlich springt in die Augen, daß das Licht am positiven Pol in der ersten Querabteilung fast ganz unterdrückt ist*). Wenn die Mehrzahl der Bilder in dieser Weise ausfiel, so habe ich doch unter scheinbar ganz denselben Umständen ein Entladungsbild erhalten, wo *die positive Seite in analoger Weise, wie die in Figur 18 allein hervortretende negative Seite und mit vollkommen derselben Stärke entwickelt war.*

Trotz der Entschiedenheit, mit der ich das *Alternieren* der Lichtintensität an den Enden der einzelnen Querstreifen beobachtet habe, wird man daher begreifen können, daß es mir doch nicht möglich gewesen, zu finden, weshalb in dem einen Falle das positive, im andern das negative Licht die relativen Maxima zeigte. Die Lichtintensität scheint im einzelnen wie im ganzen, außer von den bekannten, auch noch von unbekannten Umständen abhängig, die nicht in der Hand des Beobachters liegen. Zwei Entladungsbilder, die scheinbar unter genau denselben Bedingungen erzeugt waren, brachten selbst auf ein und derselben Platte, mochten sie nun gleichzeitig an zwei verschiedenen Stellen der Leitung oder durch zwei gesonderte Entladungen entstanden sein, zuweilen Bilder von sehr verschiedener Stärke der Lichtwirkung hervor, verschiedener als sie durch die Annahme selbst beträchtlicher Schwankungen in der Stärke der durch den Rotationsapparat vermittelten Entladungen erklärt werden können**).

[149] Bei Anwendung eines vom Eisen verschiedenen Metalles der Pole verringerte sich im allgemeinen der Unterschied in der Weise des Fortschleuderns der Teilchen an beiden Polen. Nicht so schön, aber in demselben Sinne wie für Eisen habe ich die Unterschiede der Zeichnung unter anderm an Polen von Nickel, Blei (Fig. 16), Magnesium und Zink beobachtet. Der Entladungsfunke zwischen Kupferpolen hat mir überhaupt keine derartigen Lichtstreifen auf der Platte geliefert, ebensowenig zwischen Polen aus Kohle, während Gold,

*) Eine ähnliche Erscheinung in demselben Sinne habe ich bei Anwendung von Zinn-, Silber- und andern Drähten beobachtet.

**) Ist das Bild weit seitlich auf die Platte gefallen, so war die Ladung meistens von dem mittleren Werte, welcher der Anordnung des Entladungsapparates entsprach, abweichend. Übrigens waren die Abweichungen in der Quantität der entladenen Elektrizitätsmenge unter sonst gleichen Umständen nicht sehr groß.

Silber, Platin und Zinn mir keine ganz *entschiedenen* Resultate in bezug auf die Stromrichtung gaben.

Fig. 16 stellt das Bild einer Entladung dar, welche zwischen in erwähnter Art überzogenen Bleikugeln*) entstanden war. Für Fig. 15 war das Blei mit Zinn, für Fig. 14 mit Silber, für Fig. 13 mit Kupfer vertauscht. Nach allen Beobachtungen scheint mir außer der Form der Pole auch die Natur derselben auf das verschiedenartige Abreißen der Teile durch die Elektrizität von Einfluß zu sein.

Doch noch in anderer Weise modifiziert die Natur des Metalls den Charakter der Erscheinungen, und dieser Einfluß scheint mir keinen so wesentlichen Schwankungen zu unterliegen. Die Länge der Zeit, während welcher die einmal ins Glühen gebrachten Teilchen ihre Temperatur erhielten, zeigte sich nach der Art des Metalles sehr verschieden. Die Teilchen des Zinns schienen am schnellsten die empfangene Lichtintensität zu verlieren. In Fig. 15 zum Beispiel sind die Querabteilungen durch einen ganz durchgehenden, vollkommen dunklen Raum voneinander getrennt, und ein Nachleuchten der Teilchen über den Nullpunkt der Stromstärke hinaus ist kaum zu bemerken. Dem Zinn kam das Zink in dieser Eigenschaft zunächst. [150] Waren die fortgeschleuderten Teilchen Platin, so schien im Vergleich zu den andern von mir versuchten Metallen die Lichtwirkung am längsten zu dauern, so daß eine Unterscheidung der Querabteilungen in dem mittleren Teile des Funkenbandes kaum möglich war. Dem Platin kam in dieser Eigenschaft das Silber am nächsten, während die übrigen untersuchten Metalle**) mit verschiedenen Nuancierungen eine mehr mittlere Stellung zwischen Platin und Zinn einzunehmen schienen. Die Dauer des Leuchtens der einmal ins Glühen versetzten Teile war im übrigen allerdings von der Intensität abhängig, sowie von dem Grade der Anhäufung materieller Teile in der Funkenstrecke, allein der Einfluß der metallischen Natur ließ sich durchaus nicht verkennen.

Für eine leichte und präzise Beobachtung der Oszillationsdauer scheint hiernach empfehlenswert, die Kugeln, zwischen

---

*) Genau genommen waren meistens nur die gegenüberstehenden Kuppen der Kugeln aus dem bezeichneten Material.

**) Dies waren Eisen, Nickel, Blei, Magnesium (welches ich der Güte des Herrn Prof. Erdmann verdanke), Antimon, Gold und Kupfer, wie ich auch Kohle hinzurechnen kann.

LIBRARY OF THE UNIVERSITY OF

denen der zu photographierende Entladungsfunke sich bilden soll, aus Zinn zu wählen.

Gesetze der Oszillationen.

Wenn ich in dem Vorhergehenden mir erlaubt habe, die negativen Resultate mit derselben Ausführlichkeit zu besprechen, als die positiven, so glaubte ich dies tun zu müssen, um eine richtige Anschauung von der Komplikation der Verhältnisse zu ermöglichen. Ich habe daher auf die Verschiedenheit in den Abbildungen aufmerksam gemacht, weniger aber hervorgehoben, wie ausnahmslos unveränderlich die Dauer einer *beliebigen* Querabteilung*) sich herausstellt, sobald die Breite scharf zu bestimmen ist, [**151**] gleichviel, zwischen welchen Polen die Entladung stattfindet, wenn nur elektrische Oberfläche und Leitung konstant sind. Die Entladungsbilder 13—22 Taf. III, ausgenommen jedoch Figur 19, sind bei Konstanz dieser Elemente erhalten; daß in den Figuren 13—16 die Querabteilungen eine etwas andere Breite haben als in den folgenden, rührt lediglich davon her, daß für jene die Rotationsgeschwindigkeit eine etwas abweichende gewesen ist.

An mehreren der gegebenen Abbildungen (z. B. Fig. 14, 17, 19, 28^b Taf. III) sieht man den Anfang der ersten Querabteilung durch einen Partialfunken bezeichnet. Dieser feine Funkenstrich, durch welchen die Entladungserscheinung eingeleitet wird, ist in vielen Fällen (besonders wenn die sphärische Abweichung ihn verbreitert) zu lichtschwach, um sich zu photographieren. Allein, daß er stets vorhanden, scheinen die Beobachtungen mit bloßem Auge, so wie die Photographien bei ruhendem Spiegel zu beweisen. Durch diesen Partialfunken ist die Kontinuität des Schließungsbogens hergestellt, und die Elektrizitätsbewegung nimmt nun ihren regelmäßigen undulatorischen Verlauf.

Um die Dauer einer Oszillation möglichst genau zu finden,

*) Wenn die erste Querabteilung in ihrer Breite zuweilen merklich von den folgenden abzuweichen schien, so möchte ich dies, wo ich besonders bei nur wenig auseinander gezogenen Querstreifen beobachtet habe, auf Rechnung der unregelmäßigen Explosion setzen, indem die leuchtenden Teilchen oft schon in einer sehr kurzen Zeit von dem einen Pole die Fläche des andern erreichen und dadurch hier den Austrittspunkt der Elektrizität unkenntlich machen können.

habe ich stets die Ausdehnung einer Anzahl Streifen gemessen, durch ihre Zahl dividiert und aus dem arithmetischen Mittel mehrerer so an einem Bilde gefundenen Werte ein Element zur Berechnung gewonnen. Ist die Zahl der Querstreifen groß*), und die Funkendistanz nicht zu gering, so läßt sich die Messung an mehreren Stellen jeder Seite, und wenn zwei Funken sich gleichzeitig gut abbildeten, an beiden Bildern**) ausführen, so daß der aus der Messung selbst entstehende Fehler im ganzen klein ist.

[152] Es konkurriert indes noch eine andere Fehlerquelle, die von der Bestimmung der Rotationsgeschwindigkeit herrührt und wesentlich größer ist. Der rotierende Spiegel erlangt nämlich nach einer gewissen Zeit das Maximum der Geschwindigkeit, ohne aber eine *vollkommen* gleichmäßige Bewegung zu bekommen. Je kleiner die Bewegungsgeschwindigkeit durch Schwungrad und Windflügel, und je größer gleichzeitig das treibende Gewicht gemacht wird, desto geringer fallen die Schwankungen aus. Da sie überhaupt aber nicht ganz zu vermeiden sind, so habe ich die Rotationsgeschwindigkeit im allgemeinen während eines Zeitabschnittes bestimmt, in welchem zugleich die Beobachtung fiel. In der Regel darf ich wohl behaupten, den wahrscheinlichen Fehler, welcher auf diese Weise den Beobachtungen anhaftet, auf 2 Proz. der beobachteten Größe zurückgeführt zu haben, und dies genügte in den meisten Fällen, um die vorhandenen Gesetze mit hinreichender Schärfe zu erkennen.

Die Schlagweite oder die Höhe der Ladung hat keinen merklichen Einfluß auf die Oszillationsdauer.

Bei Entladung von 10 Flaschen durch einen ziemlich kurzen Schließungsbogen beobachtete ich:

---

*) Da die Zahl der Querstreifen *cet. par.* bei der größten Oberfläche auch am größten ist, so wird der Fehler, welcher aus der Breitenmessung entsteht, bei 16 Flaschen im allgemeinen am kleinsten ausfallen müssen, weshalb ich häufig den bei 16 Flaschen erhaltenen Wert der Oszillationsdauer der Berechnung für die übrigen zugrunde gelegt habe.

**) Ist eins der Bilder nicht vertikal und symmetrisch unter dem zugehörigen Funken entstanden, sondern weit nach einer Seite verschoben (oder dehnt es sich auch nur über einen sehr großen Raum aus), so darf bei genauen Bestimmungen die Korrektion nicht vergessen werden, welche daraus entspringt, daß die horizontalen Dimensionen des Bildes im Verhältnis der *Tangenten* des doppelten Drehungswinkels zueinander stehen.

Für 4 mm Schlagweite.		Für 8 mm Schlagweite.	
Zahl der Quer-abteilungen	Ausdehnung in Millim.	Zahl der Quer-abteilungen	Ausdehnung in Millim.
9	17,8	8	15,5
10	19,3	9	17,8
6	11,8	10	20,3
7	13,7	7	14,0
6	12,2	10	19,6
9	17,7	7	13,8
47	92,6	8	15,6
		59	116,6
Mittlere Breite einer Querabteilung 1,97 mm.		Mittlere Breite einer Querabteilung 1,38 mm.	

[153] Da die Summe der Abstände des Spiegels vom Funken und des Spiegels von der photographischen Platte, auf die Rotationsebene projiziert, nahe 1054 mm betrug und bei beiden Beobachtungen der Spiegel 98 Rotationen in der Sekunde gemacht hatte, so ergab sich die Dauer einer Oszillation in Teilen einer Sekunde angegeben:

Für 4 mm Schlagweite	Für 8 mm Schlagweite
0,00000304″	0,00000305″

Bei Entladung von 16 Flaschen und einem sehr langen Schließungsbogen berechnete ich auf ähnliche Art aus angestellten Beobachtungen:

Oszillationsdauer bei einer Schlagweite von $1\frac{1}{2}$ mm	Oszillationsdauer bei einer Schlagweite von 9 mm
0,0000511″	0,0000514

Die Veränderung der elektrischen Oberfläche oder der Zahl unter sich gleicher Flaschen bei sonst gleichen Verhältnissen äußert einen Einfluß nach dem Gesetze:

$$t = a\sqrt{s},$$

wo t die Oszillationsdauer, a eine nur von dem Schließungsbogen sowie von der Natur der Leidener Flaschen abhängige Konstante und s die Flaschenzahl ist.

Folgende Beobachtungen sind bei einem nur 161,3 m langen, aber nicht gerade ausgespannten, sondern seinem

größten Teile [143 m] nach in verschiedenen (neun) Rollen aufgewickelten Schließungsdrahte gewonnen worden.

16 Flaschen		8 Flaschen	
Zahl der Quer-abteilungen	Ausdehnung in Millim.	Zahl der Quer-abteilungen	Ausdehnung in Millim.
8	38,3	5	24,6
12	51,4	5	24,3
6	28,2	7	34,6
8	38,0	8	39,1
34	161,4	7	34,0
		32	156,6

Mittlere Breite einer Querabteilung 4,76 mm.

Mittlere Breite einer Querabteilung 4,89 mm.

[154]

4 Flaschen		2 Flaschen	
Zahl der Quer-abteilungen	Ausdehnung in Millim.	Zahl der Quer-abteilungen	Ausdehnung in Millim.
8	39,8	5	17,9
8	39,9	5	17,6
8	40,0	5	17,7
5	25,2	6	21,2
6	30,0	7	24,1
35	174,9	8	27,7
		36	126,2

Mittlere Breite einer Querabteilung 5,00 mm.

Mittlere Breite einer Querabteilung 3,51 mm.

Da der Spiegel zu 925 Rotationen während der Entladungen von

16 Fl.	8 Fl.	4 Fl.	2 Fl.
54,5″	37,3″	26,0″	25,8″

Zeit gebrauchte, so ergeben sich (weil die Summe der Abstände dieses Spiegels vom Funken und von der photographischen Platte, auf die Rotationsebene projiziert, nahe 1000 mm betrug) folgende Werte der Beobachtung:

	Oszillationsdauer in Sekunden	
Flaschenzahl	beobachtet	berechnet
16	0,0000446	—
8	0,0000314	0,0000315
4	0,0000224	0,0000223
2	0,0000156	0,0000158

Wenn man nach oben gegebener Formel aus der Beobachtung für irgend eine Flaschenzahl (z. B. hier für 16) die Oszillationsdauer für irgend eine andere Flaschenzahl berechnet, so erhält man einen Wert, dessen Abweichung von der Beobachtung durchaus zwischen den Grenzen der Beobachtungsfehler eingeschlossen ist*).

[155] Das eben bewiesene Gesetz möchte ich indes noch verallgemeinern, ich möchte den Begriff der elektrischen Oberfläche mit dem der Kapazität vertauschen, wie derselbe in ähnlichem Sinne schon von Thomson, Siemens u. a. gebraucht ist.

Denke ich mir einen konstanten Entladungsapparat (etwa ein bestimmt gestelltes Funkenmikrometer) in der Weise in dem sonst kontinuierlichen Schließungsbogen angebracht, daß die *Art* der Verteilung auf beiden unveränderlichen, einander gegenüberstehenden Kugeln sich nicht wesentlich ändert, wenn die elektrischen Oberflächen oder die Flaschen samt ihrer Verbindung geändert werden, so kann ich Kapazität diejenige Elektrizitätsmenge nennen, welche eine Selbstentladung — eine Ausgleichung in dem ganzen System von Leitern — herbeiführt, und welche nach der Entladung mit entgegengesetztem Zeichen von jeder der beiden Belegungen verschwunden ist. Oder mit andern Worten: Kapazität**) kann diejenige Elektrizitätsmenge genannt werden, welche — von dem Zustand einer gleichmäßigen Verteilung der Elektrizitäten über alle Teile der Leitung***) angerechnet — jeder der beiden elektrischen Ober-

*) Auch bei ganz kurzem Schließungsbogen findet das erwähnte Gesetz seine Anwendung, allein die Beobachtung bei kleiner elektrischer Oberfläche war wegen mangelnder Rotationsgeschwindigkeit schwieriger; auch ließ sich die Rotationsgeschwindigkeit schwieriger bestimmen. Übrigens stimmen folgende bei einem etwa 7 m langen Schließungsbogen und 88 Spiegelrotationen in einer Sekunde erhaltene Beobachtungen recht wohl untereinander überein.

	Oszillationsdauer	
Flaschen	beobachtet	berechnet
16	0,00000222	—
12	0,00000196	0,00000192
8	0,00000158	0,00000157
4	0,00000110	0,00000111

**) Die so definierte Kapazität ist zugleich auch dem Potential der gesamten Elektrizität auf sich selbst proportional.

***) Daß dieser Zustand u. a. auch dann hergestellt ist, wenn nirgends freie Elektrizitäten mehr vorhanden sind, leuchtet wohl von selbst ein.

flächen (natürlich mit entgegengesetztem Zeichen) hinzugefügt werden muß, damit die freie elektrische Spannung*) an einem unveränderlichen Punkte der Leitung einen bestimmten Wert [156] erhält, z. B. etwa einen solchen Wert, daß für denselben am Entladungsapparat gerade eine Selbstentladung zustande kommt.

Habe ich z. B. zwei gleiche und gegen die Oberfläche der Leitung sehr große leitende Kugeln, welche durch jenen konstanten Entladungsapparat verbunden sind, und sei die eine vollkommen abgeleitet, während die andere mit positiver Elektrizität geladen wird; sei ferner $\varkappa$ diejenige Elektrizitätsmenge, bei welcher eine Selbstentladung erfolgt, so kann ich nach dem Vorangegangenen $\varkappa$ die Kapazität des Leitersystems nennen. Habe ich aber die zweite Kugel, gegen welche die erste sich entladen soll, *nicht* abgeleitet, so wird die Elektrizitätsmenge, welche auf der andern Kugel angehäuft sein muß, damit eine Selbstentladung im Entladungsapparat eintritt, zwar dieselbe $\varkappa$ sein, allein nach der Entladung haben beide Kugeln sich in die Elektrizitätsmenge $\varkappa$ *geteilt*; es ist nicht mehr so, wie in dem vorigen Falle, als wenn die eine Kugel (die abgeleitete) von Hause aus die Elektrizitätsmenge $-\varkappa$ besässen hätte, sondern der Zustand gleichmäßiger Verteilung, von welchem an gerechnet werden soll, ist derjenige, in welchem beide Kugeln die Elektrizitätsmenge $\frac{1}{2}\varkappa$ besitzen. Denke ich mir bei diesem Zustande der einen Kugel $-\frac{1}{2}\varkappa$, der andern $+\frac{1}{2}\varkappa$ hinzugefügt, so habe ich die elektrische Verteilung, welche in dem Entladungsapparate die Selbstentladung herbeiführen kann. In diesem Falle muß also die Kapazität durch $\frac{1}{2}\varkappa$ ausgedrückt werden. Kann man die Formel [oben S. 90] also in der Weise verallgemeinern, daß man die Oszillationsdauer mit der Wurzel aus der Kapazität proportional setzt, so müßte man in dem zweiten Falle der beiden Kugeln die Oszillationsdauer berechnen können, dadurch daß man die für den ersten Fall gefundene Oszillationsdauer mit $\sqrt{\frac{1}{2}}$ multipliziert[16]).

Hat dies Raisonnement und die Substitution der »Kapazität« allgemeine Gültigkeit, so läßt es sich leicht prüfen, wenn man:

*) Die freie Elektrizität auf der Leitung wird dabei als verschwindend gegen die Elektrizität der betrachteten Oberflächen angenommen, ebenso wie auch die Fernwirkung der betrachteten Oberflächen auf den danach gewählten Punkt konstanter Spannung als verschwindend anzusehen ist.

1) Die Leidener Flaschen nicht gegen die äußere Be-
[157] legung (die vollkommene Ableitung), sondern gegen die innere Belegung anderer gleichartiger, vollkommen abgeleiteter Flaschen entladet*).
2) Kondensatoren von andern Dimensionen mit den gebrauchten Flaschen vergleicht.

Entlade ich also 8 Flaschen, statt gegen ihre äußere Belegung, gegen andere gleichartige 8 Flaschen, so kommt nur die Hälfte der angehäuften Elektrizität zur Ausgleichung. Die Kapazität des jetzigen Flaschensystems ist also nur die Hälfte gegen den Fall, wo ich 8 Flaschen gegen ihre eigene äußere Belegung entlud; die Oszillationsdauer mußte also $\sqrt{\frac{1}{2}}$ mal diejenige sein, welche ich [oben auf S. 91] bei gewöhnlicher Entladung von 8 Flaschen gegeben habe, vorausgesetzt, daß an dem Schließungsbogen sonst nichts geändert ist. Der Versuch ergab mir eine vollständige Bestätigung, denn es ist:

	Oszillationsdauer	
	beobachtet	berechnet
8 Fl. entladen gegen 8 Fl.	0,0000222	0,0000222

Entlade ich 4 Flaschen gegen die innere Belegung von 8 Flaschen, so ist die Elektrizitätsmenge, welche, vom Zustande gleichmäßiger Verteilung an gerechnet, entladen wird, $\frac{2}{3}$ von derjenigen, welche bei der Entladung gegen die eigene äußere Belegung zur Ausgleichung kam. Die früher [s. oben S. 91] für 4 Flaschen gefundene Oszillationsdauer muß also mit [158] $\sqrt{\frac{2}{3}}$ multipliziert werden, um die jetzt stattfindende zu erhalten.

*) Abgesehen von der besonderen Art der Bindung an den Flaschenbelegungen ist der Fall allerdings nicht ganz derselbe, wie in dem Beispiel der Kugeln, weil sich an den Flaschen stets auch negative kondensierte Elektrizität befindet, indem der positiven Elektrizität im Innern entsprechend ein Äquivalent negativer Elektrizität auf dem Außenbeleg angehäuft ist. Allein es ist möglich, einerseits die Ableitung durch gute Leiter herzustellen, andererseits alle Flaschen nahe und gut leitend (bei mir durch einen weniger als 1 m langen Drahtweg) zu verbinden, so daß man annehmen kann, die negativen elektrischen Teilchen bewegten sich von oder zwischen den äußeren Belegungen mit einer solchen Leichtigkeit, daß sie verschwindenden Einfluß hätten auf die Bewegung der positiven Elektrizität zwischen den inneren Belegungen. Hierdurch wäre man in der Tat in der Lage, die positive Elektrizität allein ins Auge fassen zu können.

Analog muß die für 2 Flaschen gefundene Oszillationsdauer mit $\sqrt{\frac{4}{5}}$ multipliziert werden, um die Oszillationsdauer zu finden, wenn man die 2 Flaschen gegen die innere Belegung von 8 Flaschen entladet. Beobachtung und Rechnung gaben für beide Fälle:

	Oszillationsdauer	
	beobachtet	berechnet
4 Fl. entladen gegen 8 Fl.	0,0000178	0,0000183
2 Fl. entladen gegen 8 Fl.	0,0000136	0,0000139

und man sieht, daß beides nur wenig voneinander abweicht*).

Um einen Kondensator von andern Dimensionen mit den gebrauchten Flaschen zu vergleichen, nahm ich eine Scheibe Bilderglas und bildete zwei Franklinsche Tafeln daraus. Das Glas von ziemlich gleichförmiger Stärke, hatte eine durchschnittliche Dicke von 2,53 mm. Die einseitige Belegung beider Tafeln betrug zusammen 0,460 qm.

Um die Kapazität eines solchen Kondensators im Verhältnis zu den bisher gebrauchten Flaschen zu ermitteln, gibt es nun einen einfachen Weg. Nach der vorher gegebenen Definition von Kapazität findet man nämlich diese Relation, wenn man durch dasselbe Funkenmikrometer bei unveränderter Stellung der Kugeln einmal die Flaschen, ein andermal die Tafeln entladet und die Ausschläge eines in beiden Fällen in der Leitung befindlichen Galvanometers [**159**] miteinander vergleicht. Bei einem zweckmäßig konstruierten Galvanometer muß bekanntlich für Ströme von kurzer Dauer die Geschwindigkeit,

---

*) Wünscht man den Ausdruck der Kapazität zu vermeiden, so läßt sich dies bei Anwendung gleichartiger Flaschen allerdings tun. Nach den vorliegenden Beobachtungen muß man dann die [s. oben S. 90] für die Oszillationsdauer bei konstantem Schließungsbogen gegebene Formel

$$t = a\sqrt{\frac{s \cdot s_1}{s + s_1}}$$

schreiben, wo s die geladene Belegung und s_1 diejenige Belegung ist, gegen welche entladen werden soll. Dabei ist zu berücksichtigen, daß eine vollkommen abgeleitete Belegung eine unendliche Oberfläche besitzt; ferner, daß der Einfluß gleichzeitiger elektrischer Bewegungen auf andere Oberflächen als s und s_1 als verschwindend angesehen wird, was natürlich immer nur unter besonderen Umständen der Fall sein kann.

mit welcher der Magnet aus der Ruhelage herausgeworfen wird, der schließlich entladenen Elektrizitätsmenge proportional sein*).

Das Galvanometer gab bei 10 mm weitem Abstand der 25 mm Durchmesser haltenden Kugeln des Funkenmikrometers folgende Werte:

Beide Tafeln	Zwei Flaschen
51,5	43,1
52,2	44,0
51,0	44,3
51,0	43,0
51,7	43,8
Mittel 51,5	Mittel 43,6

Die Entladung der beiden Franklinschen Tafeln mit Hilfe des Spiegelapparates ließ mich mit Anwendung des früher ge-

*) Indem ich dieser Elektrizitätsmenge die Kapazität proportional setzte, glaubte ich, den Rückstand vernachlässigen zu können. Die Versuche über den Rückstand, welche ich früher zu meiner eigenen Orientierung über die Brauchbarkeit der Galvanometerangaben gemacht habe, und bei denen ich (in ganz ähnlicher Weise wie neuerlich Herr v. Oettingen, jedoch meist nur bei größerer Schlagweite experimentierend) *niemals* negative Rückstände wahrnahm, ferner die unter Umständen geringe Größe des Rückstandes und endlich der Umstand, daß durch eine Messung und Berücksichtigung des Rückstandes die Schwankungen in den Galvanometerangaben nicht ausreichend erklärt werden können, hat mich zu der Ansicht geführt, daß bei Anwendung eines einfachen, gut verbundenen Leitungsdrahtes von nicht zu großem Widerstande der Rückstand am Ende der Entladung verschwindend klein ist, und sich von diesem Zeitpunkte an erst bildet. Die mir soeben zugegangene Abhandlung des Herrn v. Oettingen (Pogg. Ann. Bd. 115, S. 413) scheint dieser Auffassung nicht günstig zu sein. Ein weiteres Eingehen auf diesen Punkt, sowie eine Kontrolle der von mir als Kapazitäten angenommenen Werte erscheint daher notwendig.

Zugleich möchte ich bemerken, daß gewiß auch in jedem Momente der Entladung der *passive* Rückstand veränderlich ist, und daß daher, erst wenn bestimmte Data der Beobachtung über diese schwierige Frage sich haben gewinnen lassen, die von Herrn v. Oettingen a. a. O. S. 516 gegebene Stromkurve *exakt* genommen und die *strenge* Gültigkeit der Formeln behauptet werden darf.

Sehr interessant wäre es, wenn die Beobachtungen am Galvanometer feststellen könnten, in welcher Weise die nach den Versuchen des Herrn v. Oettingen wahrscheinliche Zunahme des Grenzwiderstandes mit wachsender Schlagweite stattfindet.

brauchten Schließungsbogens (von 161,3 m Länge) eine Oszillationsdauer von

0,0000164″

[160] finden; während die nach den Verhältnissen der Kapazitäten berechnete

0,0000169″

ist. Die Abweichung ist in der Tat also nur gering, und ich glaube daher, daß der Verallgemeinerung der oben gegebenen Formel durch die Einführung der »Kapazität« statt der elektrischen Oberfläche von seiten des Experimentes nichts im Wege steht*).

---

*) Mit Hilfe des Galvanometers lassen sich auf ähnliche Weise auch die Kapazitäten der gebrauchten Flaschen bestimmen. Der Versuch gab als Mittel aus je zehn Beobachtungen:

Flaschen	*A*	*B*
16	235,0	235,0
8	119,3	116,9
4	58,0	58,2
2	27,5	28,4

wo in der Kolumne *A* die Beobachtungen stehen, welche an einem Galvanometer direkt bei Entladung der betreffenden Flaschenzahl erhalten wurden, während *B* aus den Werten berechnet ist, welche ich erhielt, als ich bei einem andern Schließungsbogen und durch ein anderes Galvanometer immer je 2 Flaschen für sich auf ihre Kapazität untersuchte. Die größten Abweichungen zweier Galvanometerangaben in einer aus 10 Beobachtungen bestehenden Reihe betrug im Durchschnitt 4½ Proz. Indem man zwar sieht, daß das Verhältnis der Kapazitäten auf beide Weisen nicht absolut genau als dasselbe gefunden wurde, möchte ich doch das Mittel aus je zwei zusammengehörigen Werten der beiden Kolumnen als einen angenäherten Ausdruck der Kapazität zu setzen versuchen. Nimmt man hiernach die Kapazitäten für:

16 Fl.	235,0
8	118,1
4	58,1
2	28,0

und berechnet danach die Oszillationsdauer für die übrigen Flaschen aus der [oben S. 91] erhaltenen Oszillationsdauer für 16 Flaschen, so erhält man

	8 Fl.	4 Fl.	2 Fl.
Oszillationsdauer	0,0000316	0,0000222	0,0000154

deren Abweichung von den beobachteten Werten ebenfalls zwischen die Grenzen der Beobachtungsfehler fällt.

Wie richtig diese Verallgemeinerung ist, leuchtet von selbst ein, weil hierdurch das Gesetz auf jedes beliebige Leitersystem anwendbar wird[17]).

Bevor ich das Kapitel über den Einfluß der Kapazität auf die Oszillationsdauer schließe, möchte ich noch eine Beobachtungsreihe anführen, welche ich mit einem Schließungsbogen von ungefähr 1400 m Länge erhalten habe.

[161]

Flaschenzahl	Oszillationsdauer beobachtet	Oszillationsdauer berechnet	Differenz in Zehnmilliontel Sekunden
12	0,0000472″	0,0000479″	+ 7
10	0,0000435″	0,0000441″	+ 6
8	0,0000392″	0,0000394″	+ 2
6	0,0000338″	0,0000341″	+ 3
4	0,0000282″	0,0000278″	— 4
2	0,0000207″	0,0000194″	— 13

Es scheint hier eine Abweichung von dem gegebenen Gesetze in dem Sinne aufzutreten, daß die Oszillationsdauer mit der Kapazität der entladenen Oberfläche nicht so rasch abnimmt, als das Gesetz es verlangt. Denn die Differenzen der Beobachtung und der Rechnung, wie dieselbe mit Hilfe der am Galvanometer für je 2 Flaschen gefundenen Kapazitäten nach dem zuvor gegebenen Gesetze ausgeführt ist, lassen sich, wenigstens für die letzte Beobachtung, selbst nicht einmal in gezwungener Weise aus den Beobachtungsfehlern erklären.

Zwei andere Beobachtungen nach Ausschaltung der in dem Schließungsbogen befindlichen Drahtrollen, wodurch die Leiterlänge auf 1343 m reduziert ward, lieferten mir:

Flaschenzahl	Oszillationsdauer beobachtet	Oszillationsdauer berechnet
16	0,0000504	—
2	0,0000191	0,0001175

Da fast alle Teile der Leitung 1 m oder darüber voneinander entfernt waren, so wird die verteilende Wirkung der Leiterteile aufeinander im Vergleich zur Wirkung des umgebenden Raumes sehr klein gewesen sein; es liegt daher die Vermutung nahe, daß die freie, sich auf der ganzen Oberfläche des Drahtes verteilende Elektrizität die Ursache jener Abweichung sei, indem von der andern Seite ins Gewicht fällt,

daß die gesamte Oberfläche des 1,35 mm dicken Drahtes keine ganz unbedeutende*) war.

Herr Dr. Siemens hat, Pogg. Ann. 1857, Bd. 102, S. 108, die Kapazität eines oberirdischen Telegraphendrahtes mit der Kapazität einer belegten Glastafel verglichen. Er hat in derselben Abhandlung bewiesen, daß die Kapazität eines [162] Kondensators der Glasdicke umgekehrt proportional ist. Wollte ich danach meinen Leitungsdraht mit den von mir gebrauchten Flaschen vergleichen, so würde sich für denselben eine Kapazität nahe gleich derjenigen von 3 Flaschen ergeben. Allein die Vergleichung ist nicht ohne weiteres statthaft, erstens weil die von mir gebrauchte Glassorte nur zufällig mit der von Herrn Dr. Siemens gebrauchten in bezug auf ihr spezifisches Verteilungsvermögen identisch sein könnte, zweitens weil der 1,35 mm dicke Draht meiner Leitung zum größten Teil in geringer Entfernung von Wänden sich befand, während Herr Siemens den zwei Linien dicken Telegraphendraht unter freiem Himmel 8 m über dem Boden ausgespannt hatte. Wie weit die Kapazität meiner Leitung von der vorher nach den Angaben von Siemens berechneten abweicht, läßt sich nicht wohl übersehen. Dagegen hätte mir eine Entladung von einer Anzahl gut abgeleiteter Flaschen gegen den an seinem einen Ende isolierten Draht vielleicht eine Beobachtung der Oszillationsdauer ermöglichen können, aus der sich ein Schluß auf die Kapazität machen ließe. Der Versuch zeigte mir in einzelnen Fällen zwar eine oszillatorische Entladung, allein die Ausgleichung kam bei dieser Anordnung in so verschiedener Weise und oft so unregelmäßig zustande, daß ich hier keine sichere Basis zur Vergleichung gewinnen konnte.

Ich stellte daher einen andern Versuch an, um nur im allgemeinen meine Vermutung zu bestätigen oder zu widerlegen. Ich nahm den früher schon gebrauchten, zum größten Teil [143 m] in Rollen aufgewickelten Schließungsbogen von 161,3 m Drahtlänge und brachte ungefähr 70 m von seinem mit der Außenbelegung verbundenen Ende eine Nebenleitung durch einen dicken, 5 m langen, gerade ausgespannten Kupferdraht an. Diese Nebenleitung, welche den mittleren Teil des Schließungsbogens verband, war jedoch nicht geschlossen, sondern es befand sich die isolierende Schicht einmal von 8 Flaschen, ein andermal von 4 Flaschen als trennender Isolator in derselben;

*) [2,85 □m.]

während in einem dritten Falle die Nebenleitung ganz ausgeschaltet war. [163] Da auf dem geraden und kurzen Wege der Nebenschließung die elektrischen Gleichgewichtsschwankungen — wie aus später anzuführenden Versuchen deutlicher hervorgehen wird — ungleich rascher erfolgen mußten, als auf dem Wege der Leitung durch die betreffenden Drahtrollen, so schien mir von einer Seite der Leitung wenigstens ein ähnliches Verhältnis wie bei dem langen Schließungsbogen hergestellt. In dem Schließungsbogen selbst konnte eine Quantität freier Elektrizität gebunden werden (analog der Bindung zwischen den Bodenwänden und der Drahtoberfläche der langen Leitung), und der Versuch konnte mir zeigen, ob und in welchem Sinne eine solche Bindung die Oszillationsdauer zu verändern imstande sei. Der Versuch ergab:

Flaschenzahl in der unterbrochenen Nebenleitung	Oszillationsdauer bei Entladung von 8 Flaschen
8	0,0000331″
4	0,0000322″
0	0,0000314″

Als ich die Oszillationsdauer von 4 Flaschen bestimmen wollte, indem sich 8 Flaschen in der unterbrochenen Nebenleitung befanden, war die scharfe Trennung der Oszillationen stark verwischt. Das Bild erinnerte an Zeichnungen von verschiedenen übereinander gelagerten Wellensystemen [Interferenzen]. Soweit sich die Querabteilungen erkennen und bestimmen ließen, leitete ich daraus die entsprechenden Zeitgrößen ab und fand die Oszillationsdauer zwischen den Werten 0,0000247″ und 0,0000260″ eingeschlossen, während wir [s. oben S. 91] wissen, daß 4 Flaschen bei demselben Schließungsbogen, jedoch ohne die seine Kapazität vergrößernde Nebenleitung 0,0000224″ Oszillationsdauer gaben.

Aus vorstehendem scheint sich wenigstens *der* Schluß ziehen zu lassen, daß die Kapazität des Schließungsbogens zur Vergrößerung der Oszillationsdauer beiträgt.

Die Induktionswirkungen, welche durch Länge und Aufspannungsart der Leitung bedingt sind, zeigen sich von weit bedeutenderem Einfluß auf die Oszillationsdauer, als die oben betrachteten elektrostatischen Bindungserscheinungen.

[164] *Die Länge**) *der Leitung* vergrößerte ich in der Art,

*) Die Flaschen waren mit ihrem Innenbeleg und Außenbeleg so untereinander und mit der Leitung verbunden, daß die Elek-

daß die einzelnen Teile des angefügten, 1,35 mm dicken Drahtes so weit voneinander entfernt blieben, als die Aufspannung in den gegebenen Räumen es erlaubte. Ich glaubte anfangs, die Induktionswirkungen der einzelnen Leiterteile aufeinander vernachlässigen zu können, weil die zugefügten Drahtlängen einander im allgemeinen nicht näher kamen, als im Durchschnitt 1 m. Mit den verschiedenen Längen des Leiters bei Entladung von 10 Flaschen der früher angegebenen Dimensionen habe ich folgende Beobachtungen gemacht:

Länge des Schließungsbogens in Metern	Oszillationsdauer in Sekunden
5,26	0,00000132
15,26*)	0,00000312
25,26	0,00000410
45,26	0,00000601
65,26	0,00000753
85,26	0,00000845
115,26	0,00000935
180,3**)	0,0000131
317,0	0,0000177
445,3	0,0000227
1343	0,0000398***).

Aus vorstehenden Beobachtungen erkennt man die wesentliche Zunahme der Oszillationsdauer mit zunehmender Leiterlänge; man sieht ferner, daß die Oszillationsdauer in einem langsameren Verhältnis wächst, als die Länge des Schließungsbogens. Einen bestimmteren Zusammenhang möchte ich aus den Beobachtungen nicht ableiten, denn [165] wenn man auch aus den Rechnungen von Thomson und Kirchhoff eine Formel für den Zusammenhang finden kann, so bieten die von

---

trizität auf jeder Flasche von der innern zur äußern Belegung dieselbe Wegstrecke zu durchlaufen hatte. Diese Wegstrecke betrug, wenn nur die Verbindung durch den Entladungs- und Rotationsapparat die Leitung bildete, 5,26 m, und war zugleich der unter allen Umständen unveränderliche Teil der Leitung.

*) Die hinzugekommenen 10 m waren hier im Beobachtungszimmer im Viereck aufgespannt, während bei allen späteren Leiterlängen der Schließungsdraht außerhalb des Zimmers fortgeführt war.

**) Die Form des Schließungsbogens näherte sich einem rechtwinkligen Dreiecke von etwa 20 m Länge der kleinsten Kathete.

***) Diese Oszillationsdauer ist aus einer für 16 Flaschen gefundenen nach dem zuvor gegebenen Gesetze berechnet.

mir angeführten Versuche doch nicht die gewünschte Übereinstimmung. Ich finde indes hierin kein Zeugnis gegen die Anwendbarkeit jener Theorie auf den Fall der Flaschenentladung *im allgemeinen*; denn daß die Aufspannungsweise der Leitung, selbst bei der von mir gewählten Entfernung der Leiterteile nicht zu vernachlässigen ist, werden besondere Versuche zeigen, und da eine analoge Art der Aufspannung verschiedener Drahtlängen nicht nur überhaupt schwierig, sondern im vorliegenden Falle geradezu unmöglich war, so steht nichts der Annahme im Wege, daß ein einfaches Gesetz in vorstehenden Beobachtungen nur durch die unvermeidliche Mangelhaftigkeit des Experimentes verdeckt wurde.

Die Induktion von parallelen Leiterteilen aufeinander verlängert die Oszillationsdauer, wenn der Strom in ihnen gleichgerichtet fließt; verkürzt sie, wenn er entgegengesetzt gerichtet ist, und zwar kann man die Größe der Induktionswirkung im letzten Falle aus folgenden Versuchen erkennen, bei denen 75 m eines 105,26 m langen Schließungsbogens in zwei parallelen Windungen aufgespannt waren. Jede der beiden Windungen bildete nahezu ein Parallelogramm von $15\frac{1}{2}$ m Länge und $3\frac{1}{2}$ m Breite. Indem ich den senkrechten Abstand beider Windungen voneinander änderte, erhielt ich folgende Werte der Beobachtung.

Induktion entgegengerichteter Ströme.

Abstand der beiden Windungen	Oszillationsdauer	Differenz in Hundertmilliontel-Sekunden
62 mm	0,00000782″	
		31
125	0,00000813	
		37
253	0,00000850	
		28
500	0,00000878	
		28
1000	0,00000906	

Aus diesen Beobachtungen scheint hervorzugehen, daß die Oszillationsdauer in arithmetischem Verhältnisse zunimmt, wenn die Entfernung zweier paralleler *entgegengesetzt gerichteter* Leiterteile in geometrischem Verhältnisse wächst. Auf größere Abstände habe ich die Versuche nicht ausge[166]dehnt, weil ich dann einerseits die Veränderung der Länge, andererseits die veränderte Induktionswirkung der gegenüberstehenden Seiten des Parallelogramms nicht hätte außer acht lassen dürfen. Denn daß die Induktion *gleichgerichteter* paralleler Leiterteile

ebenfalls, nur in umgekehrtem Sinne, auf die Oszillationsdauer einwirkt, mögen folgende zwei Beobachtungen zeigen, bei denen die beiden veränderlichen parallelen Drahtstrecken des 105,26 m langen Schließungsbogens zusammen einen Weg von 68 m bildeten.

Induktion gleichgerichteter Ströme.

Abstand der beiden Drähte	Oszillationsdauer
62 mm	0,00001084
1000	0,00000986

Erkennt man hieraus den retardierenden Einfluß, welchen parallele gleichgerichtete Windungen auf die Dauer einer Oszillation haben müssen, so wird man es nicht überraschend finden, daß ich bei nur 161,3 m Drahtlänge die Oszillationsdauer für 2 Flaschen schon zu 0,0000156″ und daraus berechnet für 10 Flaschen die Oszillationsdauer

0,0000354″

erhalten konnte, wenn von diesen 161,3 m 143 m in 9 Rollen aufgewickelt waren.

Zugleich erkennt man aus den Beobachtungen, daß wenn Teile des Schließungsbogens selbst nur bis auf einen Meter einander nahe kommen, die Wirkung auf die Oszillationsdauer nicht zu vernachlässigen ist, sobald diese Teile ein wesentliches Stück im Verhältnis zur ganzen Länge des Schließungsbogens ausmachen.

Schon aus den vorher angeführten Beobachtungen dürfte man wohl die Überzeugung gewinnen, daß es die Dauer der Oszillationen verlängern muß, wenn man einen wesentlichen Teil des Leiters in mehrere gleiche Zweige spaltet. Nach der eben gefundenen Art der Induktionswirkung darf man nämlich erwarten, daß zwei Zweige einen um so mehr retardierenden Einfluß auf die Elektrizitätsbewegung in jeder Oszillation ausüben, je näher die gleichgerichteten Ströme in den Zweigen einander liegen, und daß das Maximum dieser Retardation dann stattfindet, wenn die Zweige mit[167]einander in ihrer ganzen Länge in Berührung gebracht sind, oder, was nahezu dasselbe, wenn man statt der Zweige *einen* einfachen Leitungsdraht anwendet.

Die Versuche, welche ich in dieser Richtung gemacht, sind zwar nicht mit Annäherung hervorgebracht, allein ich glaube, sie beweisen dasselbe. Bei Entladung von 10 Flaschen und

einem Schließungsbogen, bei welchem die Zweige wegen Mangel an Raum zickzackförmig im Zimmer aufgespannt waren, erhielt ich:

Länge des Schließungsbogens	Oszillationsdauer
5,3 m + 30 m	0,0000040″
5,3 + {30 m | 30}	0,0000030
5,3 + {30 m | 30 | 30}	0,0000025
5,3 + {30 m | 30 | 30 | 30}	0,0000024

Die eingeklammerten Zahlen bezeichnen die nebeneinander eingeschalteten Zweige.

Aus denselben Gründen, weshalb die Oszillationsdauer sich verkürzt, wenn man den Schließungsbogen in mehrere Zweige spaltet, muß auch die zunehmende Dicke des Leiters eine Beschleunigung in der Elektrizitätsbewegung der Oszillationen herbeiführen. Denkt man sich nämlich den Draht in lauter lineare Elemente zerlegt, so kann man diese Elemente gewissermaßen als Zweige betrachten, die mit zunehmender Dicke des Leiters an Zahl sich vermehren.

Als ich an 10 m bei einem 15¼ m langen Schließungsbogen die Dicke änderte, gab mir die Beobachtung kein hinreichend in die Augen fallendes Resultat. Später habe ich einen wesentlicheren Teil des ganzen Schließungsbogens genommen, nämlich 100 m von 105,26 m Gesamtlänge, und für denselben bei möglichst gleicher Aufspannungsart verschiedene Dicken gewählt. Die Entladung von 10 Flaschen gab:

[168]

Dicke des Drahts	Oszillationsdauer*)
2,55 mm	0,0000096
1,35	0,0000099
0,70	0,0000103
0,35	0,0000108

*) Wenn ich bei dem 2,55 mm dicken Drahte gegen 30 Oszillationen auf der Platte angedeutet fand, so war bei denen von 0,35 mm

Wenn ich nun aus den Beobachtungen schließe, daß die Zunahme der Dicke des Schließungsbogens eine Verkürzung der Oszillationsdauer bewirkt, so könnte man vielleicht einwerfen wollen, daß diese Verkürzung wohl von dem zugleich veränderten Leitungswiderstand herrühre.

Es hat sich mir indes gezeigt, daß die Oszillationsdauer keine merkliche Änderung erleidet, wenn man die Oszillationen durch Einschaltung von Fäden verdünnter Schwefelsäure oder von dünnem Neusilberdraht in ihrer Zahl immer weiter und weiter beschränkt. Nur *eine* Beobachtung will ich als Beispiel anführen, welche ich mit 16 Flaschen bei dem schon mehrfach erwähnten, zum größten Teil aufgerollten Schließungsbogen von 161,3 m Länge gemacht habe, nachdem eine Säule verdünnter Schwefelsäure in der Leitung eingeschaltet war. Ich erhielt nämlich eine Oszillationsdauer von

$$0{,}0000442''$$

auf einer Platte, wo nur die siebente Querabteilung angedeutet war und nur auf eine Ausdehnung von fünf genau gemessen werden konnte, während bei der [oben S. 91] angeführten Beobachtung für den ganz metallischen Schließungsbogen 20 Querabteilungen scharf auf der Platte zu unterscheiden waren; die Oszillationsdauer für den letzten Fall war aber, wie man sich erinnern wird, $0{,}0000446''$, also nicht wesentlich verschieden.

Zum objektiven Beweise der Abnahme der Oszillationszahl mit zunehmendem Widerstande und zur Charakterisierung der kontinuierlichen Entladung habe ich auf Taf. III die Entladungsbilder wiedergegeben, wie ich sie mit 16 Flaschen, einem gegen 1400 m langen Schließungsbogen [169] und Anwendung nahe derselben Rotationsgeschwindigkeit des Spiegels erhielt.

Fig. auf Taf. III.	Widerstand in Metern.
23*)	0,044
24	0,020
25	0,016

Dicke etwa nur die achte zu erkennen; präzis und deutlich zeigten sich aber noch weniger, so daß hierin der Fehler, der beim Messen der Breite entsteht, merklich sein kann.

*) Wenn man sieht, daß es mir auch gelungen ist, die kontinuierliche Entladung charakteristisch zu photographieren, so muß ich doch bemerken, daß es sich nur bei Anwendung großer Elektrizitätsmengen erreichen ließ.

Fig. auf Taf. III.		Widerstand in Metern.
26		0,008
27		0,005
28, 29	ganz metall. Leitung,	ungefähr 0,001

Die Widerstände sind hier auf 1 mm dicke Fäden verdünnter Schwefelsäure vom spez. Gew. 1,25 reduziert.

Von den beiden gleichzeitigen Bildern jeder Figur ist das schmälere Band zur Linken durch den Übergang der Elektrizität zwischen Zinkkugeln, das breitere zur Rechten zwischen Eisenkugeln bei jedesmal derselben Entladung entstanden, und zwar lag die breitere Funkenstrecke der inneren Flaschenbelegung zunächst.

Ich glaube nicht, daß es nötig ist, Versuche, welche ich auch mit Bleidraht ausgeführt habe, und welche die Unabhängigkeit der Oszillationsdauer von der chemischen Natur des Leiters noch weiter bestätigen könnten, hier anzuführen.

Wenn ich in vorliegendem einige Hauptgesetze der wellenartigen Bewegung der Elektrizität nach einem schon 1859 gegebenen vorläufigen Berichte [s. oben S. 27] näher erörtert und begründet habe, wenn es mir gelungen ist, die Oszillationen, welche bei der Entladung eines elektrischen Kondensators durch einen gut leitenden Schließungsbogen eintraten, zur objektiven Anschauung zu bringen, so hätte ich doch gern noch manche Fragen beantwortet, die weiter ins einzelne gehen oder das Gefundene verallgemeinern. Indes mit dem Rotationsapparate allein ist dies nicht möglich.

Die Frage z. B., ob in allen Teilen des Schließungsbogens in jedem Momente dieselbe Stromstärke herrsche, [170] ist nach theoretischen Betrachtungen zu verneinen. Wenn ich aber zwei Funken derselben Entladung in einem gemessenen Abstande den einen am Ende, den andern am Anfang oder in der Mitte einer langen Leitung eintreten lasse, so ist bei den Dimensionen meiner Apparate und Hilfsmittel doch nicht zu erwarten, daß eine etwaige Verschiebung der Querabteilungen des einen Bildes gegen die des andern wahrzunehmen wäre.

Das Instrument, welches hier bestimmtere Aufschlüsse geben könnte, ist vor allem das Dynamometer; mit diesem würden sich zugleich durch Interferenz verschiedener Wellenphasen in den beiden Rollen Schlüsse auf die Geschwindigkeit

der Elektrizität ziehen lassen. Die Hindernisse, welche sich mir entgegenstellten, um abermals eine Leitung von über 1300 m frei aufzuspannen, haben mich von weiteren Versuchen bisher abgehalten.

Ebenso habe ich darauf verzichten müssen, die Kapazität der gebrauchten Flaschen auf eine bestimmte, allgemeinere Einheit zurückzuführen.

Wie die Konstanten bei meinen Versuchen aber auch mit den theoretisch zugrunde gelegten Einheiten übereinstimmen mögen, wie die Bewegung während eines Hin- und Rückganges der Elektrizität im einzelnen auch anzunehmen sei, so glaube ich doch, daß ein Zweifel an der unter Umständen oszillatorischen Bewegung der Elektrizität, wie sie den theoretischen Betrachtungen von Helmholtz, Thomson, Kirchhoff entspricht, nicht mehr statthaben kann, zumal, da meine in der Veröffentlichung vom Jahre 1859 als für die Entladung der Leidener Flasche wirklich maßgebend bezeichneten Prinzipien durch mannigfaltige und interessante Versuche des Herrn Dr. Paalzow Bestätigungen erfahren haben. Ich glaube zugleich annehmen zu dürfen, daß es sich in bezug auf die gewonnene Lehre nur um einen weiteren Ausbau derselben, sei es auf theoretischem, sei es auf experimentellem Wege, handelt, um zu gleicher Zeit den Zusammenhang der hier maßgebenden Verhältnisse mit den schönen Untersuchungen von Riess, [171] denen von Savary, von Hankel u. a. in ein klares Licht zu setzen.

[231] Theorie der Stromverzweigung bei der oszillatorischen elektrischen Entladung und die „äquivalente Länge“ des Herrn Direktor Knochenhauer[18]).

Die Theorie der elektrischen Flaschenentladung ist bekanntlich zuerst im allgemeinen von W. Thomson gegeben, darauf aber eingehender von Kirchhoff entwickelt worden. Durch meine über die elektrische Flaschenentladung angestellten Beobachtungen, sowie durch die darüber geführten Rechnungen von Kirchhoff*) scheint ihre Anwendbarkeit gesichert. Ich will nun versuchen, sie auch auf den Fall der elektrischen Stromteilung anzuwenden, und erlaube mir, hauptsächlich an die Kirchhoffschen Arbeiten anzuknüpfen. Die Untersuchungen über die Bewegung der Elektrizität in Drähten haben genannten Forscher auf eine Differentialgleichung geführt, welche die Elektrizitätsbewegung bei Entladung der Leidener Flasche bestimmt.

Bedeutet nämlich i die Stromstärke im Schließungsbogen zur Zeit t, ferner W den Widerstand des Schließungsbogens, A die elektrodynamische Konstante**) desselben [232] und

---

*) Pogg. Ann. 1864, Bd. 121, S. 551.

**) Die Größe A ist nach Kirchhoff

$$= \frac{8}{c^2} \iint \frac{ds\, ds'}{r} \cos\Theta \cos\Theta'$$

wo c die [von Wilh. Weber eingeführte] Geschwindigkeit ist, mit welcher zwei Elektrizitätsteilchen sich gegeneinander bewegen müssen, um keine Wirkung mehr aufeinander ausüben zu können; ds und ds' zwei verschiedene Elemente des Schließungsbogens von der relativen Entfernung r; Θ und Θ' ihre respektiven Neigungs-

$V_{(i)} - V_{(a)}$ den Unterschied der Potentialwerte an den Enden des Schließungsbogens, so ist:

$$Wi + A\frac{di}{dt} = 2(V_{(i)} - V_{(a)})$$

oder in Worten ausgedrückt: die elektromotorische Kraft, welche der augenblicklichen Stromstärke entspricht, vermehrt um die Summe der elektromotorischen Kräfte, welche durch die Zunahme des Stromes in allen Teilen des Schließungsbogens erregt werden, ist in jedem Zeitmoment gleich derjenigen Kraft, welche durch den Potentialunterschied an den beiden Enden des Schließungsbogens bestimmt ist.

Der Potentialwert für das mit der inneren Flaschenbelegung verbundene Ende des Schließungsbogens ist in irgend einem Augenblick während der Entladung $V_{(i)}$; wie der Wert an den einzelnen Stellen eines beliebigen Schließungsbogens zur selben Zeit beschaffen ist, wissen wir nicht, allein wir sind berechtigt, anzunehmen, daß er sich in kontinuierlicher Weise dem Werte von $V_{(a)}$ nähert, wenn wir Punkte eines homogenen, kontinuierlichen, in weitem Bogen ausgespannten Schließungsdrahtes in Betrachtung ziehen, welche aufeinander folgend der äußeren Belegung näher liegen.

Welcher Potentialwert übrigens für die einzelnen Punkte der Leitung gelten mag, so muß doch in jedem Augenblick für jeden Punkt ein bestimmter Wert gelten. Wenn wir daher ein bestimmtes Stück des Schließungsbogens einer gesonderten Betrachtung unterwerfen, so können wir die Potentialwerte an den beiden Enden $v_{(i)}$ und $v_{(a)}$ nennen. Nehmen wir an, daß die Induktionswirkungen dieses Stückes auf den übrigen Schließungsbogen, und umgekehrt, verschwindend klein sind, gegen die Induktionswirkungen jedes Teiles auf sich selber*),

---

winkel gegen die Linie r bedeuten, und die beiden Integrationen über die ganze Länge des Schließungsbogens auszudehnen sind.

W. Thomson nennt die Größe A einfach elektrodynamische Konstante, welcher Benennungsweise ich mich hier anschließen will [sonst nennt man sie Potential eines Leiters auf sich selbst oder auch Induktionskonstante, indem man darunter die Selbstinduktion eines Leiters versteht].

*) Diese, sowie dieselbe später auch für Zweige des Schließungsbogens gemachte Annahme wird den bei Versuchen sich darbietenden Verhältnissen nur unter besonderen Umständen vollkommen entsprechen, allein wenn die in Rede stehenden Teile des Schließungs-

so können wir eine der obigen analoge Differentialgleichung auch für das betrachtete Stück bilden, nämlich:

$$w\,i + a\frac{di}{dt} = 2\,(v_{(i)} - v_{(a)}) \quad \ldots\ldots\ldots \quad 1)$$

[233] wo i denselben Wert hat wie oben, w und a dagegen respektive den Widerstand und die elektrodynamische Konstante des betrachteten Stückes bedeutet, während $v_{(i)} - v_{(a)}$ den Unterschied der Potentialwerte an den Enden desselben angibt.

Diese einleitenden Betrachtungen führen uns den Weg zur Lösung des in der Überschrift angedeuteten Problems[19]). Haben wir nämlich an einer Stelle des Schließungsbogens eine Teilung der Entladung zwischen den Zweigen I und II mit den Widerständen w_1 und w_2, so wie mit den elektrodynamischen Konstanten a_1 und a_2, so wird dort, wo sich die Zweige trennen, der Potentialwert $v_{(i)}$, dort, wo sie sich wieder vereinigen, $v_{(a)}$ gelten. Können wir nun die Wirkungen, welche durch die Induktion zwischen den beiden Zweigen, so wie zwischen jedem Zweige und dem übrigen Schließungsbogen auftreten als verschwindend klein betrachten gegen die Induktionswirkungen jedes Teiles auf sich selber [wie es ja unschwer herzustellen ist], so dürfen wir folgende Differentialgleichungen aufstellen:

$$\left.\begin{aligned} w_1\,i_1 + a_1\frac{di}{dt} &= 2(v_{(i)} - v_{(a)}) \ldots\ldots \\ w_2\,i_2 + a_2\frac{di}{dt} &= 2(v_{(i)} - v_{(a)}) \ldots\ldots \end{aligned}\right\} \quad 2)$$

Wenn wir eine auch von Kirchhoff gebrauchte Annahme machen, daß nämlich in allen übrigen Teilen des Schließungsbogens gleichzeitig dieselbe Stromstärke i stattfindet, so kann offenbar in jedem Augenblick durch die Zweige nur diejenige Elektrizitätsmenge entweichen, welche auch durch den Querschnitt des Stammdrahtes fließt. Wir haben daher:

$$i_1 + i_2 = i \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 3)$$

Aus 2 in Verbindung mit 3 folgt dann:

---

bogens nicht aus dicht nebeneinander ausgespannten Drähten oder ineinander geschobenen Drahtrollen bestehen, vielmehr als gesonderte Systeme anzusehen sind, so dürfte eine solche Annahme zur Vereinfachung der Betrachtungen wohl allgemeiner erlaubt sein.

$$\frac{w_1+w_2}{a_1+a_2}\,i_1+\frac{di_1}{dt}-\frac{w_2}{a_1+a_2}\,i-\frac{a_2}{a_1+a_2}\,\frac{di}{dt}=0 \quad \ldots \quad 4)$$

[234] In dieser Gleichung können wir i und $\frac{di}{dt}$ angeben, vorausgesetzt, daß wir wissen, ob wir es mit der oszillatorischen oder der kontinuierlichen Entladung zu tun haben. Die Bedingung der oszillatorischen Entladung ist nach Thomson und Kirchhoff, daß die Grösse

$$\sqrt{\frac{4}{A\beta}-\frac{W^2}{4A^2}}$$

welche wir der Abkürzung wegen mit α bezeichnen wollen, reell sei, und die Stromstärke für diesen Fall:

$$i=\frac{4Q}{\alpha A\beta}\,e^{-\frac{W}{2A}t}\sin\alpha\,t$$

wo Q die Elektrizitätsmenge in der Flasche beim Beginn der Entladung bedeutet, β diejenige Elektrizitätsmenge, mit welcher die Flasche geladen sein muß, damit der Unterschied der Potentiale 1 beträgt*), während W und A die oben schon genannte Bedeutung haben**).

Substituieren wir nun i und seinen Differentialquotienten nach t in die Gleichung (4), so erhalten wir eine Differentialgleichung, welche sich nach t integrieren läßt, und wo die Integrationskonstante aus der Bedingung

$$i_1=0 \text{ für } t=0$$

gefunden wird. Die Ausführung dieser Operationen liefert einen Ausdruck für die Stromstärke, welche in irgend einem Augenblick in dem Zweige I herrscht, nämlich:

---

*) Thomson gebraucht für $\frac{1}{4}\beta$ den Ausdruck Kapazität.

**) Es dürfte zweckmäßig sein, an dieser Stelle schon darauf aufmerksam zu machen, daß die als Widerstand bezeichnete Konstante, wenn es sich um irgend einen Draht handelt, nichts anderes ist, als der galvanische Widerstand dieses Drahtes, daß dagegen der Widerstand eines ganzen Zweigsystemes bei oszillatorischer elektrischer Bewegung nicht ohne weiteres als der bekannte galvanische Widerstand des Systemes angesehen werden darf. Die gebräuchliche Herleitung des Widerstandes für ein Zweigsystem bei galvanischen Strömen ist nämlich bei oszillierenden Strömen nicht zulässig. [Vgl. unten S. 116.]

$$i_1 = \frac{4Q}{\alpha A\beta}\cdot\frac{1}{\left(\frac{w_1+w_2}{a_1+a_2}-\frac{W}{2A}\right)^2+\alpha^2}\left\{\alpha\frac{a_2w_1-a_1w_2}{(a_1+a_2)^2}\left(e^{-\frac{W}{2A}t}\cos\alpha t - e^{-\frac{w_1+w_2}{a_1+a_2}t}\right)+\right.$$

$$\left.+\frac{a_2\left(\frac{4}{A\beta}-\frac{w_1+w_2}{a_1+a_2}\cdot\frac{W}{2A}\right)+w_2\left(\frac{w_1+w_2}{a_1+a_2}-\frac{W}{2A}\right)}{a_1+a_2}\cdot e^{-\frac{W}{2A}t}\sin\alpha t\right\}. \quad . \quad . \quad 5)$$

und für den Zweig *II* denselben Ausdruck nur mit vertauschten Indices.

Betrachten wir uns das Resultat etwas näher, so sehen wir, daß sich folgende Bemerkung machen läßt: Der Verlauf der elektrischen Entladung in den beiden Zweigen ist von solcher Art, als wenn der ursprüngliche Entladungsstrom i aus [**235**] zwei übereinander gelagerten Wellen bestände, wovon sich die eine, nämlich:

$$\frac{4Q}{\alpha A\beta}\cdot\frac{1}{\left(\frac{w_1+w_2}{a_1+a_2}-\frac{W}{2A}\right)^2+\alpha^2}\cdot\frac{w_1+w_2}{a_1+a_2}\left(\frac{w_1+w_2}{a_1+a_2}-\frac{W}{2A}\right)e^{-\frac{W}{2A}t}\sin\alpha t$$

im umgekehrten Verhältnis zu den Widerständen, die andere, nämlich:

$$\frac{4Q}{\alpha A\beta}\cdot\frac{1}{\left(\frac{w_1+w_2}{a_1+a_2}-\frac{W}{2A}\right)^2+\alpha^2}\left(\frac{4}{A\beta}-\frac{w_1+w_2}{a_1+a_2}\cdot\frac{W}{2A}\right)e^{-\frac{W}{2A}t}\sin\alpha t$$

im umgekehrten Verhältnis zu den elektrodynamischen Konstanten zwischen den beiden Zweigen teilte, außerdem aber noch eine selbständige Welle, nämlich:

$$\frac{4Q}{A\beta}\cdot\frac{1}{\left(\frac{w_1+w_2}{a_1+a_2}-\frac{W}{2A}\right)^2+\alpha^2}\cdot\frac{\alpha_2w_1-a_1w_2}{(a_1+a_2)^2}\left\{e^{-\frac{W}{2A}t}\cos\alpha t - e^{-\frac{w_1+w_2}{a_1+a_2}t}\right\}$$

in dem geschlossenen Kreise kursierte, welchen die beiden Zweige zusammen bilden.

Es hält nun nicht schwer, aus (5) auch die Werte

$$\int_0^\infty i_1\,dt \quad \text{und} \quad \int_0^\infty i_2\,dt$$

sowie die Werte

$$\int_0^\infty i_1^2\,dt \quad \text{und} \quad \int_0^\infty i_2^2\,dt$$

zu berechnen. Eine solche Berechnung ist deswegen von Interesse, weil die ersten beiden Integrale den Ausschlägen proportional sind, welche zwei gleiche in die Zweige *I* und *II* eingeschaltete Galvanometer geben würden, die beiden folgenden Integrale aber den Erwärmungen proportional sind, welche zwei identische Prüfungsstellen, also z. B. zwei gleiche in den Zweigen *I* und *II* befindliche Lufthermometer zeigen würden.

Führen wir die Rechnung aus, so finden wir nach einigen einfachen Reduktionen:

$$\int_0^\infty i_1\,dt = Q\,\frac{w_2}{w_1+w_2} \quad \text{und} \quad \int_0^\infty i_2\,dt = Q\,\frac{w_2}{w_1+w_2}$$

[**236**] Diese beiden Gleichungen drücken aus, daß die Elektrizität aus einer geladenen Batterie am Ende der Entladung im umgekehrten Verhältnis der galvanischen Widerstände durch die Zweige entwichen ist, daß demgemäß die Galvanometerbeobachtungen in den Zweigen eines Schließungsbogens bei oszillatorischer Entladung keine Resultate geben können, welche sich nicht auch mit den älteren und noch jetzt in manchen Lehrbüchern gebräuchlichen Annahmen über Stromstärke, Entladungszeit usw. bei dem elektrischen Flaschenstrom vertragen. Damit übereinstimmend sind die Resultate des Versuchs.

Das Integral aus dem Quadrate der Stromstärke liefert zunächst keine so einfache Formel, wir erhalten nämlich durch die Integration:

$$\int_0^\infty i_1^2\,dt = \frac{16\,Q^2}{A^2\beta^2\left\{\left(\frac{w_1+w_2}{a_1+a_2}\right)^2 - \frac{w_1+w_2}{a_1+a_2}\cdot\frac{W}{A}+\frac{4}{A\beta}\right\}^2}\times$$

$$\times\left[\left(\frac{a_2w_1-a_1w_2}{(a_1+a_2)^2}\right)^2\left(\frac{\frac{W^2}{4A^2}+\frac{4}{A\beta}}{\frac{W}{A}\cdot\frac{8}{A\beta}}-\frac{2\,\frac{w_1+w_2}{a_1+a_2}+\frac{W}{A}}{\left(\frac{w_1+w_2}{a_1+a_2}\right)^2+\frac{w_1+w_2}{a_1+a_2}\cdot\frac{W}{A}+\frac{4}{A\beta}}+\frac{1}{2}\cdot\frac{a_1+a_2}{w_1+w_2}\right)+\right.$$

$$+2\frac{a_2}{a_1+a_2}\cdot\frac{a_2w_1-a_1w_2}{(a_1+a_2)^2}\left(\frac{4}{A\beta}-\left(\frac{w_2}{a_2}+\frac{w_1+w_2}{a_1+a_2}\right)\frac{W}{2A}+\frac{w_1+w_2}{a_1+a_2}\cdot\frac{w_2}{a_2}\right)\times$$

$$\times\frac{\left(\frac{w_1+w_2}{a_1+a_2}\right)^2+\frac{w_1+w_2}{a_1+a_2}\cdot\frac{W}{A}-\frac{12}{A\beta}}{\frac{16}{A\beta}\left\{\left(\frac{w_1+w_2}{a_1+a_2}\right)^2+\frac{w_1+w_2}{a_1+a_2}\cdot\frac{W}{A}+\frac{4}{A\beta}\right\}}$$

$$+2\left(\frac{a_2}{a_1+a_2}\right)^2\left(\frac{4}{A\beta}-\left(\frac{w_2}{a_2}+\frac{w_1+w_2}{a_1+a_2}\right)\frac{W}{2A}+\frac{w_1+w_2}{a_1+a_2}\cdot\frac{w_2}{a_2}\right)^2\frac{1}{\frac{W}{A}\cdot\frac{16}{A\beta}}\Bigg]. \quad 6)$$

Ohne weitere Annahmen über die Werte der Konstanten zu machen, läßt sich hieraus kein bestimmter einfacher Schluß ziehen, in welcher Weise sich die Wärmeentwicklung auf zwei gleiche Luftthermometer in den Zweigen verteilt.

Kirchhoff hat für die Entladung einer großen Batterie von 3,2 qm innerer Belegung und etwa $4\frac{1}{2}$ mm Glasdicke durch den von mir seinerzeit gebrauchten, 1343 m langen (annähernd als geradlinig zu betrachtenden) Kupferdraht von 1,35 mm Durchmesser [**237**] ausgerechnet, daß $\frac{W^2}{4A^2}$ nur etwa den $\frac{5}{10000}$ Teil von $\frac{4}{A\beta}$ beträgt. Da dies Verhältnis nach der Theorie sowohl proportional mit der Batterieoberfläche, als auch einigermaßen annähernd proportional mit der Leiterlänge abnimmt, so kann man wohl annehmen, daß in den meisten Fällen, wo im Laboratorium mit metallischem Leitungsdraht an der Leidener Flasche experimentiert wird, und nicht gerade Glüh- und Zerstäubungsversuche gemacht werden (bei denen der Gesamtwiderstand des Schließungsbogens während der Entladung eine unbekannte, jedoch wahrscheinlich bedeutende Veränderung erleidet), die oszillatorische Entladung es ist, welche im Schließungsbogen auftritt. Ja, man wird sogar berechtigt sein, im allgemeinen dann, wenn keine sehr dünnen und langen Drähte aus schlecht leitendem Material oder gar beträchtliche Flüssigkeitswiderstände im Schließungsbogen angebracht sind, die Größe $\frac{W^2}{A^2}$ gegen $\frac{1}{A\beta}$ als verschwindend klein anzusehen.

Diese Annahme wollen wir in unserm Falle machen, außerdem aber noch voraussetzen, daß auch die Größen

$$\left(\frac{w_1}{a_1}\right)^2 \text{ und } \left(\frac{w_2}{a_2}\right)^2 \text{ gegen } \frac{1}{A\beta}$$

ohne merklichen Fehler vernachlässigt werden dürfen. Dann finden wir:

$$\int_0^\infty i_1^2 dt = \frac{2Q^2}{W\beta}\left(\frac{a_2}{a_1+a_2}\right)^2\left(1+\tfrac{1}{4}\frac{a_1}{a_2}\cdot\frac{a_1}{a_1+a_2}\cdot\frac{w_2}{w_1+w_2}\cdot\frac{w_2}{a_2}\cdot W\beta\right)$$

Fügen wir noch die Bedingung hinzu, daß $\frac{a_1}{a_2}$ eine der Einheit einigermaßen nahe liegende Zahl ist[20]), so erhalten wir, indem dann nach eben gemachten Voraussetzungen auch das mit $\frac{a_1}{a_2}$ multiplizierte Glied innerhalb der Paranthese gegen 1 verschwindet, für die in den Zweigen *I* und *II* an identischen Prüfungsstellen entwickelte Wärme die einfachen Ausdrücke:

$$\int_0^\infty i_1^2\, dt = \frac{2Q^2}{W\beta}\left(\frac{a_2}{a_1+a_2}\right)^2 \text{ und } \int_0^\infty i_1^2\, dt = \frac{2Q^2}{W\beta}\left(\frac{a_1}{a_1+a_2}\right)^2 \quad . \quad . \quad 7)$$

das heißt, daß sich unter den gemachten Voraussetzungen die Erwärmungen in den Zweigen umgekehrt verhalten, [238] wie die Quadrate der elektrodynamischen Konstanten dieser Zweige.

Es hält nicht schwer, auch die Verteilung der Erwärmung bei Vorhandensein von mehreren Zweigen in einfachem Ausdruck anzugeben, vorausgesetzt, daß alle Zweige solchen Bedingungen genügen, wie sie vorher für *I* und *II* aufgestellt sind.

Nehmen wir z. B. einen Zweig *III* mit der elektrodynamischen Konstante a_3 und bringen ihn neben *I* und *II* in die Leitung, jedoch so, daß er an der einen Seite noch das unendlich kleine Stück ε des Stammdrahtes mit umfaßt, so würde für eine Prüfungsstelle in ε der Ausdruck der Erwärmung

$$\frac{2Q^2}{W\beta}\left(\frac{a_3}{a_3+f(a_1 a_2)}\right)^2$$

sein, wenn wir die elektrodynamische Konstante für das System der beiden Zweige *I* und *II* durch die unbekannte Funktion $f(a_1\ a_2)$ bezeichnen. Benutzen wir nun, daß bei identischen Prüfungsstellen nach (7) die Erwärmung in einem Stammdrahte sich zu den Erwärmungen in zwei Zweigen verhalten muß, wie

$$1 : \left(\frac{a_2}{a_1+a_2}\right)^2 : \left(\frac{a_1}{a_1+a_2}\right)^2,$$

so erhalten wir für die Erwärmung in *I* den Ausdruck

$$\frac{2\,Q^2}{W\beta}\cdot\frac{a_2{}^2a_3{}^2}{(a_1+a_2)^2\,(a_3+f(a_1a_2))^2}.$$

Dieser Ausdruck muß offenbar seinen Wert behalten, wenn wir Zweig *II* so anbringen, wie vorher *III* und umgekehrt, weil dadurch (indem wir das unendlich kleine Stück ε außer acht lassen können) im Grunde nichts geändert wird. Da der Ausdruck durch eine solche Vertauschung die Form

$$\frac{2\,Q^2}{W\beta}\cdot\frac{a_2{}^2a_3{}^2}{(a_1+a_3)^2\,(a_2+f(a_1\,a_3))^2}$$

annimmt, so muß die Gleichung

$$a_1a_3+(a_1+a_2)f(a_1a_2)=a_1a_2+(a_1+a_3)f(a_1a_3)$$

bestehen. Da jedoch a_2 und a_3 zwei voneinander unabhängige Variable sind, so zerfällt diese Gleichung wiederum in zwei, woraus wir mit Hinzunahme der leicht als richtig zu erkennenden Beziehung $f(a_1\ 0)=0$ finden:

[239] $$f(a_1\ a_2)=\frac{a_1\ a_2}{a_1+a_2}.$$

Hiermit erhalten wir die allgemeinen Ausdrücke für die Erwärmung in den einzelnen Zweigen, für *I* nämlich:

$$\int_0^\infty i_1{}^2dt=\frac{2\,Q^2}{W\beta}\left(\frac{a_2a_3}{a_1a_2+a_1a_3+a_2a_3}\right)^2$$

und die entsprechenden für *II* und *III*, wie sie aus dem Ausdruck für *I* auch durch Vertauschung der Indices hervorgehen.

In ähnlicher Weise kann man Ausdrücke für die Erwärmungen in vier oder mehr Zweigen ableiten und findet

dabei, daß dieselbe Rolle, welche in der Formel für die Erwärmung bei galvanischer Stromteilung der Widerstand spielt, hier von der elektrodynamischen Konstante übernommen wird.

An dieser Stelle möchte ich noch auf einen Schluß in bezug auf die Erwärmung im Stammdrahte eines Schließungsbogens mit zwei Zweigen aufmerksam machen. Bezeichnet man den Widerstand, welchen der elektrische Strom in der Batterie, im Funkenraum und im Stamm des Schließungsbogens (also im ganzen Schließungskreise, die Strecke der Verzweigung ausgenommen) findet, mit W_0, so wird vor Anbringung des Zweiges *II* die in allen jenen Teilen entwickelte Wärmemenge entsprechend dem Jouleschen Erwärmungsgesetz und der Thomson-Kirchhoffschen Theorie

$$\Theta = \frac{2 W_0 Q^2}{(W_0 + w_1)\beta}$$

betragen. Hat man dagegen die Enden der Strecke *I* durch den Zweig *II* miteinander verbunden, so haben wir die Wärmemenge

$$\Theta' = \frac{2 W_0 Q^2}{W\beta},$$

wo W wie früher den Widerstand des ganzen Schließungskreises bezeichnet. Da nun die gesamte bei einer Entladung entwickelte Wärmemenge *ceteris paribus* vor und nach Anbringung des Zweiges *II* gleich ist, nämlich

$$\frac{2 W_0 Q^2}{(W_0 + w_1)\beta} + \frac{2 w_1 Q^2}{(W_0 + w_1)\beta} + \frac{2 W_0 Q^2}{W\beta} + \frac{2 Q^2}{W\beta} \cdot \frac{a_2^2 w_1 + a_1^2 w_2}{(a_1 + a_2)^2},$$

so folgt, indem

$$W = W_0 + \frac{a_2^2 w_1 + a_1^2 w_2}{(a_1 + a_2)^2}$$

[240] sein muß, daß Θ' kleiner sein kann als Θ, oder, mit andern Worten, daß durch Anbringung eines Zweiges die Erwärmung im Stamm herabgesetzt werden kann*) Als Bedingung einer solchen Herabsetzung haben wir $W' > W_0 + w_1$ oder

$$a_1 w_2 > (a_1 + 2a_2)\, w_1 \quad \ldots\ldots\ldots\ 8),$$

*) Vgl. einen hiermit im Zusammenhang zu bringenden Versuch von Riess, in dessen »Lehre von der Reibungselektrizität« § 488.

Es zeigt sich demnach, daß die Formeln, welche aus dem Ohmschen Gesetz für den galvanischen Strom im verzweigten Schließungsbogen abgeleitet werden, bei der Flaschenentladung keine allgemeine Gültigkeit haben*); daß der Widerstand eines Zweigsystemes bei der oszillatorischen elektrischen Entladung verschieden sein kann von dem Widerstand dieses Systemes für galvanische Ströme.

Von experimenteller Seite hat Herr Direktor Knochenhauer in Meiningen unstreitig das Verdienst, zuerst bestimmt nachgewiesen zu haben, daß die Übertragung der galvanischen Formeln auf die elektrische Entladung in einer großen Zahl von Fällen nicht statthaft sei**). Derselbe ist übrigens noch weiter gegangen, er hat aus seinen zahlreichen Beobachtungen, und zwar zuerst aus denen bei der Stromteilung (welche ich hier allein berücksichtigen werde) ein Gesetz für diese Stromteilungen abgeleitet***), welches wahrscheinlich schon früher mehr beachtet worden wäre, wenn nicht überhaupt, vielleicht infolge Übertragung besonderer Anschauungen in dieses Gebiet der Elektrizitätslehre, bei manchen Experimentatoren eine Versuchs- und Darstellungsweise Platz gegriffen hätte, welche einem nicht von demselben Gesichtspunkte ausgehenden Leser das Verständnis außerordentlich erschwert.

Knochenhauer hat teils in Poggendorffs Annalen, teils [241] in den Wiener Akademieberichten die bezüglichen Versuche veröffentlicht. Er beobachtet im allgemeinen folgendermaßen: er bildet an einer Stelle des metallischen Schließungsbogens aus einigen Kupferdrähten, sowie je einem Luftthermometer zwei gleiche Zweige und schaltet dann in dem einen Zweige den zu untersuchenden, gerade ausgespannten oder in irgend einer Weise gewundenen Draht von beliebigem Material

---

*) Unter besonderen Umständen kann es bei Versuchen den Anschein gewinnen, als wenn die galvanischen Formeln der Erwärmung im verzweigten Schließungsbogen auch bei entschieden oszillatorischer Entladung Gültigkeit hätten; dann nämlich, wenn die elektrodynamischen Konstanten der verschiedenen Zweige ihren zugehörigen Widerständen nahezu proportional bleiben. Vgl. einige, wie es scheint hierhin gehörige Versuche von Riess, Pogg. Ann. 1844, Bd. 63, S. 496 u. ff.

**) Vgl. z. B. Pogg. Ann. 1843, Bd. 60, S. 70 u. ff.

***) S. Pogg. Ann. 1844, Bd. 61, S. 82.

ein, in dem andern dagegen eine solche Länge »gestreckten« Kupferdrahtes von bestimmter Dicke, daß die Thermometerangaben in beiden Zweigen gleich werden*). Die Länge dieses Kupferdrahtes nennt er nun die »kompensierte Länge« oder später die »äquivalente Länge« für das untersuchte Drahtstück. Auch für den konstanten Teil der beiden Zweige leitet er aus seinen Beobachtungen eine bestimmte »äquivalente Länge« ab und zeigt unter einer großen Zahl von Versuchen, daß für den Fall ungleicher Zweige die Erwärmung sich zwischen beiden Zweigen im umgekehrten Verhältnis zu den Quadraten ihrer »äquivalenten Längen« teilt, wenn man für die »äquivalente Länge« jedes Zweiges die Summe der durch den Versuch ermittelten äquivalenten Längen der einzelnen Teile setzt.

Es mag anfangs von untergeordnetem Interesse geschienen haben, daß ein bestimmter Ausdruck in die Wissenschaft eingeführt wurde, der, selbst erst aus den Beobachtungen abgeleitet, zunächst nur dazu zu dienen schien, diese Beobachtungen darzustellen, allein die Bedeutung dieser Größe ist in einer großen Zahl von Fällen eine weitergreifende. Ich will sogleich an den neuesten Aufsatz Knochenhauers (Pogg. Ann. 1866, Bd. 127, S. 593) anknüpfen, wo derselbe seine Bestimmungen der »äquivalenten Länge« an einer Anzahl von Drahtrollen bei verschiedenen Kombinationen in derselben Weise veröffentlicht hat, wie er sie mir vor meinen (in demselben Aufsatze mitgeteilten) Beobachtungen über die Oszillationsdauer bei Entladung durch eben diese Rollen übersendete. Als wesentlicher Inhalt dieses Aufsatzes resultiert: daß die Oszillationsdauer proportional der Quadratwurzel aus der »äquivalenten Länge« des Schließungsbogens [242] ist, vorausgesetzt, daß die Oszillationsdauer bei Entladung einer und derselben Batterie gemessen wird. Aus der Thomson-Kirchhoffschen Theorie hat sich ergeben, daß unter den gewöhnlichen Verhältnissen einer elektrischen Flaschenentladung durch einen gut leitenden metallischen Schließungsbogen die Oszillationsdauer

$$\tau = \tfrac{1}{2}\pi\sqrt{A\beta}$$

ist. Wir finden uns daher veranlaßt, die »äquiva-

*) Sind die Thermometer nicht, wie hier vorausgesetzt wird genau gleich, so werden solche Erwärmungen hervorgerufen, daß dieselben dem Falle der Gleichheit entsprechen.

lente Länge«, welche sich unabhängig von der Größe der Batterie zeigte, als einen Ausdruck für die elektrodynamische Konstante des Leiters anzusehen. Wir wollen versuchen, hierauf auch andere Beobachtungen Knochenhauers zu prüfen. Erinnern wir uns an den von Kirchhoff gegebenen Ausdruck für die elektrodynamische Konstante, und überlegen wir, wie der Wert, welchen sie unter verschiedenen Umständen annimmt, mit den Knochenhauerschen Resultaten übereinstimmt.

Die elektrodynamische Konstante mehrerer hintereinander verbundener Leiterstücke kann gleich der Summe ihrer einzelnen elektrodynamischen Konstanten gesetzt werden, wenn die Induktionswirkungen zwischen je zwei Drähten verschwindend klein sind gegen die Induktionswirkung jedes Drahtes auf sich selbst; diese Bedingung ist annähernd erfüllt, wenn die Dicke jedes Drahtes des in möglichst weitem Bogen ausgespannten Leiters gegen die Länge dieses Stückes sehr klein ist, vollständiger, wenn die einzelnen Teile Spiralen sind, welche man mit ihren Achsen senkrecht zueinander stellt. Es läßt sich demnach gegen die beabsichtigte Ausdehnung der vorher aufgestellten Behauptung daraus wohl kein Einwand bilden, daß Knochenhauer die Addition der »äquivalenten Länge« meistens*) erlaubt findet, um die »äquivalente Länge« der hintereinander verbundenen Drähte zu erhalten.

Die elektrodynamische Konstante eines Drahtes ist mit abnehmender Dicke desselben nur schwach zunehmend. Dasselbe findet Knochenhauer für die »äquivalente Länge« (vgl. z. B. Pogg. Ann. 1843, Bd. 60, S. 243).

[243] Die elektrodynamische Konstante vergrößert sich, wenn man Teile des vorher gerade ausgespannten Drahtes gegeneinander in der Weise einbiegt, daß der Strom in den nahe liegenden Teilen gleichlaufend fließt; sie verkleinert sich, wenn der Strom in den nahe liegenden Teilen entgegen gerichtet ist. Ebenso die äquivalente Länge (vgl. z. B. Wiener Sitzungsber. 1859, Bd. 36, S. 432 oder 1861, Bd. 44, S. 259).

Die oben abgeleiteten Formeln (7) für die Erwärmung im Zweige des Schließungsbogens sind entsprechend schon von Knochenhauer (Pogg. Ann. 1844, Bd. 61, S. 82) gegeben worden, und die oben unter (8) gefundene Bedingung für den

*) Die Versuche mit sehr schlecht leitenden Drähten erfordern eine besondere Besprechung; s. unten.

Eintritt einer Wärmeabnahme im Stamm des Schließungsbogens nach Anbringung eines Zweiges an letzterem findet sich in derselben Form a. a. O. S. 89.

Daß man überhaupt die Änderung*) der elektrodynamischen Konstante bei Veränderung zweier schon vorhandener Zweige in vielen Fällen nicht unpassend durch eine Längenänderung ausdrückt, leuchtet schon ein, wenn man den Wert der elektrodynamischen Konstante einmal für einen speziellen Fall ermittelt. Man findet nämlich leicht aus der schon von Kirchhoff für einen geraden Draht gegebenen Formel, daß die Zunahme, welche die elektrodynamische Konstante eines gestreckten Drahtes durch Verlängerung desselben erfährt, um so annähernder dieser Verlängerung proportional ist, je größer seine ursprüngliche Länge im Verhältnis zur hinzugefügten war.

Ist man nach diesem geneigt, das, was Knochenhauer »äquivalente Länge« eines Leiters nennt, als einen Ausdruck für die elektrodynamische Konstante desselben anzusehen, so müsste man sich doch im einzelnen Falle vorsehen, wenn man die von Knochenhauer bei seinen verschiedenen Untersuchungen gefundenen Zahlenwerte wirklich benutzen wollte, teils weil die Form und Anbringung der Drähte selten klar ersichtlich ist, teils weil die oben gegebenen einfachen Formeln nur dann eine ausreichende Gültigkeit haben, wenn die Quadrate der Größen $\frac{W}{A}$, $\frac{w_1}{a_1}$ usw. gegen $\frac{1}{A\beta}$ vernachlässigt werden dürfen, und $\frac{a_1}{a_2}$ der Einheit einigermaßen nahe liegt. Diese letzte [244] Bedingung ist zwar bei Knochenhauers Versuchen im allgemeinen mehr als nötig erfüllt, allein daß es die vorhergehenden [Bedingungen] nicht immer sind, dafür sprechen zahlreiche Versuche des genannten Experimentators mit schlecht leitenden Drähten.

Für gestreckte, sehr schlecht leitende Drähte findet Knochenhauer die »äquivalente Länge« größer als ihre natürliche Länge (vgl. z. B. Pogg. Ann., Bd. 60, S. 243). In der Tat berechnet man aus Formel (6) den Ausdruck der Erwärmung in *I* und *II* unter der Voraussetzung, daß infolge eines großen Widerstandes in *II* nur die höheren Potenzen von

*) Diese ist ja eigentlich bei Knochenhauers Versuchen zunächst die Bedeutung seiner »äquivalenten Länge«.

$\left(\frac{w_2}{a_2}\right)^2 A\beta$ gegen 1 vernachlässigt werden dürfen, so findet man bei Annahme von $a_1 = a_2$ (für welche Annahme andernfalls die Erwärmungen gleich ausfallen müssten), daß

$$\int_0^\infty i_1^2 dt > \int_0^\infty i_2^2 dt,$$

daß also dem gut leitenden Zweige noch ein Drahtstück hinzugesetzt werden muß, um die Erwärmungen gleich zu machen und den Einfluß des schlecht leitenden Materials in *II* zu kompensieren.

Die (zu groß gefundene) »äquivalente Länge« schlecht leitender Drähte sieht Knochenhauer abnehmen, wenn er die beiden Zweige um gleiche Stücke eines gut leitenden Drahtes verlängert (s. Wiener Sitzungsber. 1859, Bd. 136, S. 442). Die Übereinstimmung mit der gegebenen Theorie erkennt man bald, wenn man erwägt, daß durch die Hinzufügung von gut leitendem Draht zu Zweig *II* in der Größe $\frac{w_2}{a_2}$ der Widerstand verhältnismäßig weniger vermehrt wird, als die elektrodynamische Konstante, daß also zur Kompensation in *I* (welche ja wegen nicht hinreichender Kleinheit von $\frac{w_2}{a_2}$ eintreten mußte) mit Abnahme von $\frac{w_2}{a_2}$ ein kürzerer Draht genügen wird.

Knochenhauer findet ferner, daß die »äquivalente Länge« schlecht leitender Drähte sowohl durch Vergrößerung der Batterie als auch durch Vermehrung des Widerstandes im Stamm des Schließungsbogens vergrößert wird*) (s. Wiener Sitzungsbericht 1861, Bd. 43, S. 63 u. f.). [215] Aus der allgemeinen Formel (6) findet man dementsprechend, daß die Ungleichheit der Erwärmung in beiden Zweigen, welche unter der Be-

*) Für die aus der Theorie abgeleitete Folgerung, daß die »äquivalente Länge« eines schlecht leitenden Drahtes im Zweige zunimmt, wenn man in dem Stamm des Schließungsbogens statt gestreckter Drähte Spiralen einschaltet, erinnere ich mich nicht in den Knochenhauerschen Abhandlungen eine bezügliche Beobachtung gefunden zu haben.

dingung $a_1 = a_2$ dann eintrat, sobald $\left(\frac{w_2}{a^2}\right)^2 A\beta$ kein hinreichend kleiner Bruch war, mit β, und wenn auch noch $\frac{w_2}{a_2} W\beta$ nur in den höheren Potenzen gegen 1 vernachlässigt werden darf, zugleich mit W zunimmt, daß also die zur Kompensation auf gleiche Erwärmung in I hinzuzufügende Drahtstrecke länger sein muß, wenn man die Kapazität β der Batterie oder den Gesamtwiderstand W des Schließungsbogens vermehrt.

Darf man nun für Knochenhauers Versuche über die Stromteilung annehmen, daß bei Verwendung von einfachen Induktionsrollen oder von gerade ausgespannten, gut leitenden Drähten die »äquivalente Länge« einen genäherten Ausdruck für die elektrodynamische Konstante der Drähte liefert, so ist man in den zuletzt erwähnten Fällen zu einer solchen Annahme nicht mehr berechtigt. In solchen, wie überhaupt in allen Fällen, wo sich die »äquivalente Länge« eines unveränderten Drahtkomplexes bei verschiedenartigen Versuchen als veränderlich herausstellt, hören zum wenigsten die größeren Werte derselben auf, ein Ausdruck zu sein, dem man eine allgemeinere physikalische Bedeutung beilegen könnte.

Wenn in vorstehendem eine Übereinstimmung der gegebenen Theorie mit verschiedenen Resultaten des Versuchs gefunden wurde, so ist natürlich eine solche Übereinstimmung nicht strenge nachgewiesen worden; dazu würde es der Interpretation bestimmter typischer Versuche bedurft haben, und die geeigneten Unterlagen hätten vorhanden sein müssen, um eine numerische Berechnung der verschiedenen Konstanten vorzunehmen.

Anmerkungen.

W. Feddersens Arbeiten über die Entladungsarten von Leidener Flaschen sind die Grundlage für alle späteren Untersuchungen von elektrischen Oszillationen und Wellen geworden. Die Berechtigung dafür, daß wir heute tagtäglich Schwingungsdauern nach der Thomsonschen Formel $T = 2\pi\sqrt{C \cdot L}$ berechnen, stützt sich experimentell auf Feddersensche Funkenphotographien mit rotierendem Spiegel, der als Uhr für Milliontelsekunden den Anschluß an die sonstige Zeitmessung vermittelt. Die von den Hertzschen Versuchen ausgegangene Funkentelegraphie ist heute in der Praxis wieder zu den längeren Wellen zurückgekehrt, auf welche sich Feddersens Abhandlungen beziehen. Aber auch abgesehen von ihren folgereichen Resultaten stellen seine Untersuchungen über den Funken und die elektrischen Entladungsvorgänge ein so vorbildliches Muster des Handinhandgehens theoretischer Überlegungen und experimenteller Meisterschaft dar, daß sie in der Ostwaldschen Sammlung klassischer Arbeiten nicht fehlen durften.

Für vorliegenden Wiederabdruck hat sich der Herausgeber in weitgehendem Maße der dankenswertesten Unterstützung des betagten Herrn Verfassers zu erfreuen gehabt. Der Herr Verfasser hat nicht nur die Originalabhandlungen selbst, abgesehen von dem Anschluß an die neuere Orthographie, in druckfertigem Zustande zur Verfügung gestellt und sich der Mühe unterzogen, eine Korrektur zu lesen, er hat auch der Bitte um einige biographische Notizen gütigst entsprochen und überdies durch Niederschrift eigener Anmerkungen den Wert der Neuausgabe zu erhöhen gestattet. Neben diesen durch Gänsefüßchen als autentisch gekennzeichneten Beiträgen hatte der Herausgeber abgesehen von der Korrektion verschiedener Druckfehler kaum Veranlassung, eigene Erläuterungen laut werden zu

lassen. Trotz ihres Alters von fast einem halben Jahrhundert bedürfen die Feddersenschen Arbeiten keiner weiteren Interpretation. Auch das charakterisiert sie.

Berend Wilhelm Feddersen wurde 1832 in der damals noch zu Dänemark gehörenden Stadt Schleswig geboren. Sein Vater war dort Obergerichtssekretär und Landgerichtsnotar für das Herzogtum Schleswig. Er lebte an den Ufern der Schlei eine glückliche Jugend und besuchte die Schleswiger Domschule, bis diese im Jahre 1850 von der dänischen Regierung danisiert wurde. Dann kam er auf das Gymnasium illustre zu Gotha, wo er in der Perthesschen Familie, und zwar in dem kinderreichen Hause des Konsistorialrates Agricola Aufnahme fand. Feddersen rühmt die in Gotha erfahrene Anregung und die geknüpften Lebensfreundschaften. Hier war es auch, wo sich im Kreise gleichgesinnter Freunde seine Neigung zur Naturwissenschaft ausbildete. Doch blieb er als einziger dieser Neigung treu, während die übrigen sich andern Lebensberufen zuwandten. Als erste Hochschule wählte Feddersen Göttingen, wo er trotz seiner Teilnahme am Studentenleben doch fleißig das Laboratorium von Fr. Wöhler besuchte, jedoch vom damaligen Zustande der Chemie nicht befriedigt wurde. Dagegen weckten Wilhelm Webers Vorlesungen sein Interesse für die Physik in dem Maße, daß er sich 1854 in Berlin ganz dieser Wissenschaft und der für ihr Studium unentbehrlichen Mathematik zuwandte. Er hörte dort unter andern bei Dove, Dirichlet und Magnus, arbeitete in des letzteren Privatlaboratorium und nahm an dessen physikalischem Kolloquium teil, wo auch zuweilen Dr. Krönig erschien, dem wir die erste Begründung der kinetischen Gastheorie verdanken. Nach drei Berliner Semestern bezog Feddersen die Universität Kiel als einer der ersten Schüler von Gustav Karsten, der dort gerade ein physikalisches Institut erbaut hatte. Nachdem er bei Magnus angefangen, sich mit elektrischen Fragen zu beschäftigen, setzte er dies in Kiel fort und begann für die Doktorarbeit eine Untersuchung der elektrischen Flaschenentladung. Nach bestandenem Rigorosum und halbjährigem Aufenthalte mit den Eltern in der französischen Schweiz wandte sich Feddersen 1858 nach Leipzig, um die mathematisch-elektrischen Vorlesungen W. Hankels zu hören. Er ist dort als Privatgelehrter wohnen geblieben, seit 1866 verheiratet mit einer Verwandten gleichen Namens und nach deren 1889

erfolgten Tode 1890 wiederverheiratet mit einer Kopenhagenerin geb. Kjær. In den Jahren 1859 bis 1866 setzte Feddersen seine Untersuchungen über die Entladung der Leidener Flasche fort, die Hauptleistung seines Lebens kam zustande.

Persönliche Verhältnisse brachten dann verschiedene Störungen. Jedoch unternahm Feddersen in den 70er Jahren wieder eine größere Untersuchung über die Erscheinung einer »Thermodiffusion von Gasen« bei porösen Körpern in ihrem Zusammenhange mit dem Poiseuilleschen Gesetze, konnte indessen zu keinen hinreichend konstanten Werten gelangen. Er ließ es deshalb bei der Veröffentlichung einiger Vorversuche (Pogg. Ann. 1873, Bd. 148) bewenden, bei denen sich gezeigt hatte, daß in einem porösen Körper ein Gas ausnahmslos von der kalten zur warmen Seite diffundiert.

1874 redigierte Feddersen den Jubelband zu Poggendorffs 50jähriger Redaktionstätigkeit an den Annalen der Physik und Chemie. Hochverdienstvoll ist ferner, daß Feddersen die Fortsetzung des Poggendorffschen biographisch literarischen Wörterbuches begründet und in dem 1897/1898 erschienenen dritten Bande wesentliche Verbesserungen einführte. Er selbst schreibt über diese Angelegenheit: »Gegen Ende der 70er Jahre wandte sich der Verleger von Poggendorffs Annalen an mich mit dem Ersuchen, das von Poggendorff begründete Lexikon zur Geschichte der exakten Wissenschaften weiterzuführen. Wir schlossen mündlich einen Vertrag, wonach mir ein Honorar von 10000 Mark und Ersatz aller Kosten zugesichert wurde. Im Laufe der Zeit erlahmte jedoch das Interesse des Verlegers an der Sache, und nachdem ich nach mehr als 3jähriger Arbeit das Manuskript für sämtliche Länder der Erde, ausgenommen Deutschland, Österreich und Spanien, fertiggestellt hatte, legte mir der Verleger so viele Schwierigkeiten in den Weg, daß ich mich veranlaßt sah, auf jedes Honorar verzichtend mein gesamtes Material ihm zur Verfügung zu stellen, damit er einen andern suche und fände, das Werk zu vollenden. Dies gelang ihm freilich nicht, ebensowenig seinem Nachfolger in dem Verlagsgeschäft, bis es mir glückte, Herrn Prof. A. v. Oettingen für das Werk zu gewinnen. Derselbe übernahm mein Manuskript und brachte nicht nur die von mir bearbeiteten 20 Jahre zur Herausgabe, sondern setzte das Werk noch in einem weiteren Bande für die folgenden 20 Jahre in dankenswerter Weise fort«.

Von jener Zeit an hat Feddersen, mehr durch humanitäre

Angelegenheiten in Anspruch genommen, keine physikalischen Untersuchungen wieder angefangen, ist aber mit großem Interesse den raschen Fortschritten der physikalischen Wissenschaften weiter gefolgt. Er nimmt regelmäßig an den Sitzungen der Königl. Sächs. Gesellschaft der Wissenschaften teil, deren ordentliches Mitglied er ist, und im allwöchentlichen physikalischen Kolloquium des Leipziger Institutes greift er noch jetzt des öfteren in die Diskussionen ein, für die Studenten ein Vorbild rüstiger Frische und wissenschaftlicher Begeisterungsfähigkeit.

Obgleich nicht mit der Universität Leipzig verbunden, hat Feddersen seinen Freundeskreis hauptsächlich unter den Professoren gefunden. Am nächsten stand ihm wohl der verstorbene Astrophysiker Fr. Zöllner, den Feddersen zu seinem großen Schmerze in dessen letzten Lebensjahren in die Netze des Spiritismus geraten sah.

---

1) *Zu S. 5.* »Inauguraldissertation Kiel 1857, in Kommission der Schwersschen Buchhandlung in Kiel. Unter Kürzung einiger Stellen und Hinzufügung einer Anmerkung abgedruckt in Pogg. Ann. 103, S. 70, 1858. Vorliegende Ausgabe stellt bis Seite 11 den Kieler Text dar; von der auf dieser Seite näher bezeichneten Stelle an wird der Wortlaut nach Poggendorffs Annalen wiedergegeben«.

2) *Zu S. 7.* »Angestellt im Privatlaboratorium von Gustav Magnus in Berlin«.

3) *Zu S. 10.* »Die Reproduktion einer auf Taf. 1 der Dissertation hierzu gegebenen geometrischen Konstruktion dürfte entbehrlich sein«.

4) *Zu S. 12.* »Von hier ab geben wir den etwas gekürzten Abdruck der Dissertation in Pogg. Ann. 103, S. 70, 1858.«

5) *Zu S. 18.* »Diese Zahlen ergeben sich nach S. 11 und sind hier der Übersichtlichkeit wegen hinzugefügt«.

6) *Zu S. 27.* »Abgedruckt aus den Berichten der Königl. Sächs. Gesellschaft der Wissenschaften Bd. 11, S. 171 und vorgelegt in der Sitzung vom 13. August 1859.

Wo es Wellen gibt, müssen auch Interferenzen derselben sich herstellen lassen; darauf deuten die auf S. 100 angeführten Beobachtungen sowie die mit Hilfe Lichtenbergischer Figuren angestellten Versuche von W. v. Bezold aus dem

Jahre 1870, wegen deren geringer Beachtung von seiten der Wissenschaft H. Hertz dieselben in seinen gesammelten Schriften (Leipzig 1892, Bd. 2, S. 60 u. ff.) zu reproduzieren sich veranlaßt sah, während es A. v. Oettingen 1888 (Wied. Ann. d. Phys. u. Chem. Bd. 34, S. 570 u. ff.) gelungen ist, elektrische Welleninterferenzen mit Hilfe des rotierenden Spiegels weit anschaulicher darzustellen, besser als es dem Verfasser seinerzeit glückte.

Daß die hier in Frage kommenden Wellen als stehende Wellen und ihre den Gesetzen der von Faraday 1831 entdeckten Voltainduktion folgenden, nach außen abgegebenen Wirkungen unter dem allgemeinen Prinzip der Wellenbewegung des Lichtäthers aufzufassen seien, verdanken wir seit 1888 dem rastlosen Forschergeiste eines Heinrich Hertz. Dagegen hätte die drahtlose Telegraphie nach Bekanntwerden der elektrischen Wellen schon 30 Jahre früher auf Grund der bekannten Voltainduktion erfunden werden können, wenn man einen empfindlichen Detektor gehabt hätte, wie ihn erst 1894 Branly in seinem Kohärer gegeben hat, und wie derselbe dann 1897 zuerst von Marconi benutzt worden ist«.

7) *Zu S. 29.* »In dem Wiederabdruck in Pogg. Ann. Bd. 108, S. 500, 1859 ist fälschlich »unabhängig« gesetzt, was natürlich keinen Sinn hat, wie auch aus dem Zusammenhang hervorgeht«.

8) *Zu S. 31.* »Abgedruckt aus den Berichten der Königl. Sächs. Gesellschaft der Wissenschaften Bd. 13, S. 13 und vorgelegt am 16. Februar 1861«.

9) *Zu S. 33.* »Jener Grenzwiderstand (W_1) bestimmt sich nach W. Thomson (Lord Kelvin) und Kirchhoff (s. S. 111) aus der Gleichung

$$\frac{4}{A\beta} = \frac{W_1^2}{4A^2} \quad \text{also} \quad W_1 = \frac{4}{\sqrt{\beta}} \cdot \sqrt{A}.$$

Da die Selbstinduktion A bei einem in großem Bogen gespannten Draht jedenfalls mit der Leiterlänge L wächst, so fordert auch die Theorie, den Versuchen entsprechend, daß W_1, bei konstant gehaltener Flaschenkapazität β, mit L zunimmt. — Ebenso fordert die Theorie, welche für die Oszillationsdauer τ schwach gedämpfter Schwingungen nahezu

$$\tau = \tfrac{1}{2}\pi\sqrt{A\beta}$$

gibt, daß bei konstantem β auch τ mit A resp. mit L zu-

nimmt. Jedoch darf $V\overline{A}$ nicht einfach durch $V\overline{L}$ ersetzt oder dieser Größe proportional genommen werden, da der Leiter nicht als gerader Draht betrachtet werden kann, indem er stets im Bogen zur Flasche zurückkehrt. Eine einfache Überlegung zeigt dann weiter, daß dabei die Oszillationsdauer rascher zunehmen muß, als $V\overline{L}$, wie auch (s. S. 101) beobachtet wurde«.

10) *Zu S. 35.* »Die Methode beruht auf der entgegengesetzten Ablenkung entgegengesetzt gerichteter Ströme in Geißlerschen Röhren durch den Magneten«.

11) *Zu S. 38.* »Abgedruckt aus den Berichten der Königl. Sächs. Gesellschaft der Wissenschaften math. phys. Klasse, Bd. 13, S. 114 u. ff., vorgelegt am 12. Dezember 1861; vgl. auch Pogg. Ann. 1862, Bd. 115, S. 342 u. ff., wo der Ventilapparat näher beschrieben und abgebildet ist«.

12) *Zu S. 44.* »Abgedruckt aus Pogg. Ann. 1862, Bd. 113, S. 437 u. ff. Die bei dieser Untersuchung gebrauchten Originalapparate sind in dem Deutschen Museum von Meisterwerken der Naturwissenschaft und Technik zu München aufgestellt«.

13) *Zu S. 58.* »Zahlreiche, oft sinnentstellende Druckfehler — hier Auslassung von »lichtstarken Teile« — in der Originalabhandlung sind am Schlusse der folgenden Originalabhandlung Pogg. Ann., Bd. 116, S. 171 berichtigt«.

14) *Zu S. 72.* »Abgedruckt aus Pogg. Ann. 1862, Bd. 116, S. 132«.

15) *Zu S. 82.* »Das stoßweise Austreten könnte möglicherweise von Überlagerung kurzer kleinerer Wellen auf die Kurve der Hauptwelle herrühren, dafür würde sprechen, daß auch auf einigen Photographien (z. B. Fig. 20 u. 21) die Stöße in mehr oder weniger regelmäßigen Intervallen sich zeigten.«

16) *Zu S. 93.* Es ist ein eigentümlicher Zufall, daß später H. Hertz bei Realisierung des hier als Schema benutzten Zweikugelbeispieles in seiner ersten Berechnung die Hinzufügung des von Feddersen ausführlich erörterten Faktors $V\frac{1}{2}$ übersehen hatte (vgl. H. Hertz, Werke, Bd. 2, S. 287, Anm. 6).

17) *Zu S. 98.* Während Feddersen nur die Abhängigkeit der Relativwerte von Schwingungsdauer und Kapazität studierte, dehnte G. Kirchhoff (Pogg. Ann. 1864, Bd. 121,

S. 551) seinen Vergleich der Feddersenschen Zahlen mit der Theorie auch auf die Absolutwerte aus. Zu Einsetzung der Kapazitätsbeträge für die Flaschen war er hierbei auf Schätzungen angewiesen. Die nur mangelhafte Übereinstimmung zwischen Versuch und Rechnung rührte daher, daß er die Dielektrizitätskonstante des Glases 2 statt etwa 6—7 ansetzte. Darauf wies L. Lorenz hin, der dann einige von Feddersens Versuchen wiederholt hat unter genauer Bestimmung der Kapazitäten in absolutem Maße (Wied. Ann. 1879, Bd. 7, S. 161). Hier ergab sich volle Übereinstimmung der experimentellen Resultate mit den Forderungen der Theorie auch hinsichtlich der Absolutwerte.

18) *Zu S. 108.* »Abgedruckt aus den Berichten der Königl. Sächs. Gesellschaft der Wissenschaften, Bd. 18, S. 231 u. ff., vorgelegt am 1. Juli 1866; auch veröffentlicht in Pogg. Ann. 1867, Bd. 130, S. 439 u. ff., wo noch Berichtigungen zu Knochenhauers Aufsatz Pogg. Ann., Bd. 127 hinzugefügt sind.«

19) *Zu S. 110.* »In Wiedemanns »Lehre von der Elektrizität«, 2. Aufl. Bd. 4, S. 314 u. ff. ist die Entwicklung in derselben Weise, jedoch in etwas abgekürzter, daher übersichtlicherer Form wiedergegeben.«

20) *Zu S. 115.* »Mit andern Worten, wenn a_1 und a_2 von derselben Größenordnung sind.«

Druck von Breitkopf & Härtel in Leipzig.

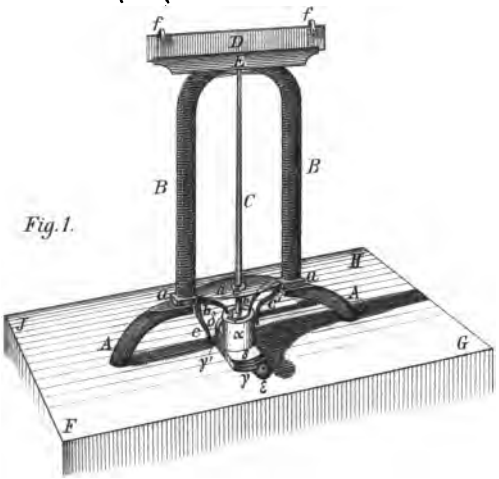
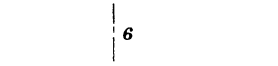
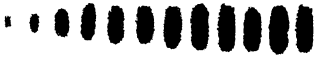
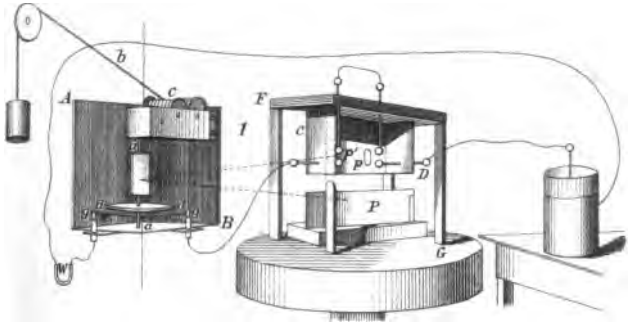


Fig. 1.

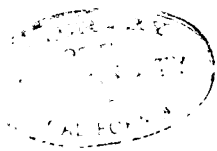
Verlag von Wilhelm Engelmann in Leipzig.







Verlag v Wilhelm Engelmann in Leipzig. Lith Anst v E A Funke Leipzig



LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY
OF
CALIFORNIA

14 DAY USE
RETURN TO DESK FROM WHICH BORROWED
LOAN DEPT.
This book is due on the last date stamped below, or on the date to which renewed.
Renewed books are subject to immediate recall.

26 May'65 RECD LD
MAY 28'65 -5 PM
DEC 16 1976
REC. CIR. JUN 25 '76
AUG 2 1978
REC. CIR. FEB 16 '78

LD 21A-60m-3,'65
(F2336s10)476B
General Library
University of California
Berkeley

Nr. 79. **H. v. Helmholtz,** 2 hydrodynamische Abhandlungen. I. Über Wirbelbewegungen. (1858.) — II. Über discontinuirliche Flüssigkeitsbewegungen. (1868.) Herausg. von A. Wangerin. (80 S.) ℳ 1.20.

» 80. —— Theorie der Luftschwingungen in Röhren mit offenen Enden. (1859.) Herausgegeben von A. Wangerin. (132 S.) ℳ 2.—.

» 81. **Michael Faraday,** Experimental-Untersuchungen über Elektricität. I. u. II. Reihe. Entdeckg. d. Induktion. (1832.) Herausgegeben von A. v. Oettingen. Mit 41 Textfiguren. (96 S.) ℳ 1.50.

» 86. —— —— III. bis V. Reihe. Elektrolyse. (1833.) Herausgegeben von A. v. Oettingen. Mit 15 Textfiguren. (104 S.) ℳ 1.60.

» 87. —— —— VI. bis VIII. Reihe. Elektrolyse. (1834.) Herausgegeben von A. v. Oettingen. Mit 48 Textfiguren. (180 S.) ℳ 2.60.

» 96. **Isaac Newton,** Optik. (1704.) Übersetzt und herausgegeben von William Abendroth. I. Buch. Mit dem Bildnis von Sir Isaac Newton und 46 Textfiguren. (132 S.) ℳ 2.40.

» 97. —— —— II. u. III. Buch. Mit 12 Textfiguren. (156 S.) ℳ 2.40.

» 99. **R. Clausius,** Über die bewegende Kraft der Wärme. (1850.) Herausg. von Max Planck. Mit 4 Textfiguren. (55 S.) ℳ —.80.

» 100. **G. Kirchhoff,** Emission und Absorption: 1. Fraunhofersche Linien. (1859.) — 2. Zusammenhang zwischen Emission und Absorption. (1859.) — 3. Verhältniss zwischen dem Emissions- u. Absorptionsvermögen der Körper für Wärme u. Licht. (1860—1862.) Herausg. von Max Planck. Mit dem Bildnis von G. Kirchhoff u. 5 Textfiguren. (41 S.) ℳ 1.—.

» 101. —— —— Abhandl. über mechan. Wärmetheorie: 1. Ein Satz der mechan. Wärmetheorie und Anwendungen. (1858.) — 2. Spannung des Wasserdampfes bei Temperaturen, die dem Eispunkte nahe sind. (1858.) — 3. Spannung des Dampfes von Mischungen aus Wasser u. Schwefelsäure. Herausgeg. von Max Planck. (48 S.) ℳ —.75.

» 102. **James Clerk Maxwell,** Physikalische Kraftlinien. Herausgegeben von L. Boltzmann. Mit 12 Textfiguren. (147 S.) ℳ 2.40.

» 106. **D'Alembert,** Dynamik. (1743.) Übersetzt und herausgegeben von Arthur Korn. Mit 4 Tafeln. (210 S.) ℳ 3.60.

» 109. **Riccardo Felici,** Mathematische Theorie der elektro-dynamischen Induction. Übersetzt von B. Dessau. Herausg. von E. Wiedemann. (121 S.) ℳ 1.80.

» 114. **Allessandro Volta,** Briefe über thierische Elektricität. (1792.) Herausg. von A. v. Oettingen. (162 S.) ℳ 2.50.

» 115. **Horace Bénédicte de Saussure,** Hygrometrie. I. Heft. (1783.) Herausgegeben von A. v. Oettingen. Mit einer Tafel u. Vignette. (168 S.) ℳ 2.60.

» 118. **Alessandro Volta,** Untersuchungen über den Galvanismus. (1796 bis 1800.) Herausgeg. von A. v. Oettingen. (99 S.) ℳ 1.60.

» 119. **Horace Bénédicte de Saussure,** Hygrometrie. II. Heft. (1783.) Herausgegeben von A. v. Oettingen. Mit 2 Textfiguren. (170 S.) ℳ 2.40.

» 124. **H. Helmholtz,** Abhandlungen zur Thermodynamik. Herausgegeben von Dr. Max Planck. (84 S.) ℳ 1.40.

» 126. **Michael Faraday,** Experimental-Untersuchungen über Elektrizität. Herausgegeben von A. v. Oettingen. IX. bis XI. Reihe. (1835.) Selbstind. u. Dielectr. Mit 15 Textfiguren. (104 S.) ℳ 1.80.

Nr. 128. **Michael Faraday,** Experimental-Unter
Herausg. von A. v. Oettingen. XII
Arten d. Entladung. Mit 29 Textfigure

YB 09643

» 131. —— —— Herausg. von A. v. Oettin
Arten d. Entladung. Mit 2 Textfiguren.

» 132. **Thomas Andrews,** Kontinuität der gasformigen und flussigen Zustände der Materie und über den gasförmigen Zustand der Materie. Herausg. von A. v. Oettingen und Kenji Tsuruta aus Japan. Mit 12 Textfiguren. (82 S.) ℳ 1.40.

» 134. **Michael Faraday,** Experimental-Untersuchungen über Elektrizität. Herausgegeben von A. v. Oettingen. XVI. u. XVII. Reihe. (1840.) Gegen Contacttheorie. Mit 18 Textfiguren. (103 S.) ℳ 1.60.

» 136. —— —— XVIII. und XIX. Reihe. (1843 u. 1846.) Dampfelektr.-Masch. u. Drehg. d. Polaris.-Ebene. Mit 11 Textfiguren. (58 S.) ℳ 1.20.

» 138. **Christian Huygens,** Bewegungen der Körper durch den Stoß. Über die Zentrifugalkraft. Herausgegeben von F[illegible] Hausdorff. Mit 49 Textfiguren. (79 S.) ℳ 1.40.

» 139. **C. M. Guldberg,** Thermodynamische A[illegible] r Molekulartheorie und chemische Gleichgewichte. Drei[illegible] en aus den Jahren 1867, 1868, 1870, 1872. Aus d[illegible] en übersetzt und herausgeg. von R. Abegg. Mi[illegible] (85 S.) ℳ 1.50.

» 140. **Michael Faraday,** Experimental[illegible] über Elektrizität. Herausgegeben von A. v. Oet[illegible] is XXIII. Reihe. (1846, 1849, 1850.) Diamagne[illegible] mus. Mit 11 Textfiguren. (174 S.) ℳ 3.—

» 142. **Wilhelm Weber u. Ru[illegible]** bhandlungen über absolute elektrische S[illegible] sung. Herausgeg. v. Friedrich Ko[illegible] n. (116 S.) ℳ 1.80.

» 144. **Johannes Kepl[illegible]** .) Übersetzt und hrsg. von Ferdin[illegible] uren. (114 S.) ℳ 2.—.

» 147. **Johan[illegible]** r physiolog. Optik. Herausgeg[illegible] arz. Mit einem Bildnis und 2[illegible] 40.

» 150[illegible] aung des Brechungs- und Farben-chied. Glasarten in bezug auf die Ver-er Fernröhre. Herausgegeben von A. v. Oettingen. Mit einem Bildnis, 6 Figuren im Text und 2 Figuren auf einer Tafel. (36 S.) ℳ 1.20.

» 152. **Theodor von Grotthuß,** Abhandlungen über Elektrizität und Licht. Herausgegeben von R. Luther und A. v. Oettingen. Mit einem Bildnis und 5 Textfiguren. (199 S.) ℳ 3.—.

» 157. **August Toepler,** Beobachtungen nach einer neuen optischen Methode. Ein Beitrag zur Experimentalphysik. Herausgegeben von A. Witting. Mit einem Bildnis von Toepler und 4 Tafeln. (62 S.) ℳ 1.50.

» 158. —— Beobachtungen nach der Schlierenmethode. Herausgeg. von A. Witting. Mit 4 Tafeln und einer Textfigur. (103 S.) ℳ 3.—.

» 161. **Christian Doppler,** Abhandlungen. Herausgeg. von H. A. Lorentz. Mit 36 Fig. im Text u. einem Bildnis. (195 S.) ℳ 3.60.

» 166. **W. Feddersen,** Entlad[illegible] ermittierende, kontinuierliche, oszill[illegible] geltende Gesetze. (1857—1866.) E[illegible] s. Mit einem Bildnis des Verf. in He[illegible] S.) ℳ 2.40.

QC763
F4
175024